ISSN 2307-5732

Науковий журнал

2.2018

ВІСНИК

Хмельницького національного університету

Технічні науки

Technical sciences

Scientific Journal

Herald of Khmelnytskyi National University

2018, Issue 2, Volume 259

Хмельницький

ВІСНИК
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
серія: Технічні науки

Затверджений як фахове видання (перереєстрація)
Наказ МОН 04.07.2014 №793

Засновано в липні 1997 р. ***Виходить 6 разів на рік***

Хмельницький, 2018, № 2 (259)

Засновник і видавець: Хмельницький національний університет
(до 2005 р. – Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)

Включено до наукометричних баз:

Google Scholar	http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=aIUP9OYAAAAJ
Index Copernicus	http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&id_lang=3
РИНЦ	http://elibrary.ru/title_about.asp?id=37650
Polish Scholarly Bibliography	https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221

Головний редактор	**Скиба М. Є.**, д.т.н., професор, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, ректор Хмельницького національного університету
Заступник головного редактора	**Войнаренко М. П.**, д. е. н., професор, заслужений діяч науки і техніки України, член-кореспондент Національної академії наук України, проректор з науково-педагогічної та наукової роботи, перший проректор Хмельницького національного університету
Голова редакційної колегії серії "Технічні науки"	**Бойко Ю.М.**, д. т. н., професор кафедри телекомунікацій та радіотехніки, начальник науково-дослідної частини Хмельницького національного університету
Відповідальний секретар	**Гуляєва В. О.**, завідувач відділом інтелектуальної власності і трансферу технологій Хмельницького національного університету

Члени редколегії

Технічні науки

Березненко С.М., д.т.н., Бойко Ю.М., д.т.н. Бубулис Алгимантас, д.т.н. (Литва), Гордєєв А.І., д.т.н., Грабко В.В., д.т.н., Диха О.В., д.т.н., Жултовський Б., д.т.н. (Польща), Зубков А.М., д.т.н., Каплун В.Г., д.т.н., Карван С.А., д.т.н., Карташов В.М., д.т.н., Кичак В.М., д.т.н., Кіницький Я.Т., д.т.н., Коробко Є.В., д.т.н. (Білорусія), Костогриз С.Г., д.т.н., Лунтовський А.О., д.т.н. (Німеччина), Мазур М.П., д.т.н., Мандзюк І.А., д.т.н., Мартинюк В.В., д.т.н., Мельничук П.П., д.т.н., Мясіщев О.А., д.т.н., Натріашвілі Т.М., д.т.н. (Грузія), Нелін Є.А., д.т.н., Павлов С.В., д.т.н., Поморова О.В., д.т.н., Попов В., доктор природничих наук (Німеччина), Прохорова І.А., д.т.н., Рогатинський Р.М., д.т.н., Ройзман В.П., д.т.н., Рудницький В.Б., д.фіз.-мат.н., Сарібекова Д.Г., д.т.н., Семенко А.І., д.т.н., Сілін Р.І., д.т.н., Славінська А.Л., д.т.н., Сорокатий Р.В., д.т.н., Сурженко Є.Я., д.т.н. (Росія), Шинкарук О.М., д.т.н., Шклярський В.І., д.т.н., Щербань Ю.Ю., д.т.н., Ясній П.В., д.т.н.,Tomasz Kalaczynski, PhD (Польща), Elsayed Ahmed Elnashar, PhD (Египет)

Технічний редактор Горященко К. Л., к.т.н.
Редактор-коректор Броженко В. О.

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету, протокол № 11 від 22.02.2018 р.

Адреса редакції: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету"
Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, Україна, 29016

☎ (038-2) 62-51-08 **web:** http://journals.khnu.km.ua/vestnik
e-mail: visnyk.khnu@gmail.com http://vestnik.ho.com.ua
http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 9722 від 29 березня 2005 року

© Хмельницький національний університет, 2018
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2018

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

В.Г. ЗДОРЕНКО, Н.М. ЗАЩЕПКІНА
ДИНАМІКА ГАЛЬМУВАННЯ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН З ПРИВОДОМ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЮ ФРИКЦІЙНОЮ МУФТОЮ 7

В.Ю. ЩЕРБАНЬ, Н.І. МУРЗА, А.М. КИРИЧЕНКО, Г.В. МЕЛЬНИК, М.І. ШОЛУДЬКО
ВЗАЄМОДІЯ ТЕКСТИЛЬНИХ НИТОК З НАПРЯМНИМИ ВЕЛИКОЇ КРИВИНИ У ВИПАДКУ НАЯВНОСТІ РАДІАЛЬНОГО ОХОПЛЕННЯ 12

С.А. ПЛЕШКО, Ю.А. КОВАЛЬОВ
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ В'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН З ЕЛЕМЕНТАМИ НА ПРУЖНІЙ ОСНОВІ 17

А.Л. ГАНЗЮК, В.П. ОЛЕКСАНДРЕНКО
РОЗВИТОК ОСНОВ ЕВОЛЮЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ФРЕТИГ-КОРОЗІЇ З ПОЗИЦІЙ ФІЗИЧНОЇ ХІМІЇ ТА ХІМІЇ ТВЕРДОГО ТІЛА ІЗ УРАХУВАННЯМ ФАКТОРІВ ЗОВНІШНЬОГО ВПЛИВУ 20

І.В. ДРАЧ
ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РІДИННОГО АВТОБАЛАНСИРА: ВПЛИВ ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ РОБОЧОЇ РІДИНИ 29

В.П. СВІДЕРСЬКИЙ, В.С. ЯРЕМЧУК
ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ І РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАСПОКОЮВАЧА ЛАНЦЮГА ГАЗОРОЗПОДІЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ 39

Є.М. ЗАВЕРАЧ, О.І. СТРЕМЕЦЬКИЙ, А.В. СВІНТІЦЬКИЙ
КАРБОНОВІ КИСЛОТИ ЯК ІНГІБІТОРИ КОРОЗІЇ АЛЮМІНІЮ В ЛУЖНИХ РОЗЧИНАХ 46

Л.С. ЗУБЧЕНКО, Є.В. КУЗЬМІНСЬКИЙ
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ БІОПЛІВКИ ЕЛЕКТРОХІМІЧНО-АКТИВНИХ МІКРООРГАНІЗМІВ В ФОТОБІОЕЛЕКТРОХІМІЧНІЙ СИСТЕМІ 51

М.Ю. СМІРНОВ, Н.М. ЗАЩЕПКІНА
РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОЗРАХУНКУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ В ПРИМІЩЕНІ 60

В.П. МІСЯЦЬ, Т.І. КУЛІК, О.С. ПОЛІЩУК, С.П. ЛІСЕВИЧ
АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ШНЕКОВОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПРЕСУВАННЯ КАВИ 64

А.В. СВІНЦІЦЬКИЙ, В.П. ТКАЧУК, К.С. СОКОЛАН
УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМУ ЗАПИРАННЯ ТВЕРДОПАЛИВНОГО КОТЛА З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕКОНОМІЧНОСТІ 71

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

М.П. ЖАЛДАК, О.Р. МОКРОУСОВА
ЧИННИКИ ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ НАТУРАЛЬНИХ ШКІР ДЛЯ ВЕРХУ ДИТЯЧОГО ВЗУТТЯ 77

Т.А. ДЗИКОВИЧ, Л.Є. ГАЛАВСЬКА, А.І. БОНДАРЕНКО
ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ РОЗВИВАЮЧОГО КИЛИМКА З ТРИКОТАЖУ 85

С.О. ЧЕРЕДНІЧЕНКО, Н.В. ОСТАПЕНКО , С.Є. ПОТАНІН, Л.В. НАВОЛЬСЬКА, Н.Д. КРЕДЕНЕЦЬ
ОСНОВНІ АСПЕКТИ ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ СУМОК-ПЕРЕНОСОК 92

О.Я. СЕМЕШКО, Н.С. СКАЛОЗУБОВА, Ю.Г. САРІБЄКОВА
РОЗРОБКА КОМПОЗИЦІЙ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ПІДГОТОВКИ БАВОВНЯНОГО ТРИКОТАЖУ 98

Н. Б. ГОЛУБ, М. В. ШИНКАРЧУК, О. А. КОЗЛОВЕЦЬ
ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКУВАННЯ БІОГАЗУ ПРИ ЗБРОДЖУВАННІ ЖИРОВМІСНИХ ВІДХОДІВ ШКІРЯНОГО ВИРОБНИЦТВА 103

А.Я. ГАНЗЮК, О.П. ШЕЛЕСТЮК, О.М. МІЩУК
КОМПОЗИЦІЙНІ ОРГАНОМІНЕРАЛЬНІ АДСОРБЕНТИ НА ОСНОВІ ПРИРОДНИХ АЛЮМОСИЛІКАТІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ БЕНЗИНІВ 108

В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, Ю.М. КОРЕНЕЦЬ, А.В. ШЕЇНА
ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ ТІСТА В ПОЛІ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ 115

О.О. ЄФРЕМОВА, Н.Г. МІРОНОВА
ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОД ПРИМІСЬКОЇ ЗОНИ М. ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ 124

Н.В. ФІЛІМОНОВА, С.О. ФІЛІМОНОВ, О.В. БАТРАЧЕНКО
ВПЛИВ ОБРОБКИ ТИСКОМ НА СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ М'ЯСА ПРИ ЙОГО ПОДРІБНЕННІ У ВОВЧКУ 129

О.С. ПОЛІЩУК, А.К. КАРМАЛІТА, О.П. БУРМІСТЕНКОВ
ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВИРОБІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ЇХ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ 134

С.В. КОНОНЦЕВ, Ю.Р. ГРОХОВСЬКА, Л.А. САБЛІЙ, М.С. КОРЕНЧУК
АДАПТАЦІЯ РЯСКОВИХ (LEMNOIDEAE) ДО УМОВ ОРГАНІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ 141

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

А.А. МЯСИЩЕВ
WEB-SERVER НА ARDUINO ДЛЯ ГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ С УДАЛЕННЫХ ДАТЧИКОВ 146

О.С. САВЕНКО
МОДЕЛЬ ТА АРХІТЕКТУРА РОЗПОДІЛЕНОЇ БАГАТОРІВНЕВОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ЛОКАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ .. 153

С.С. ПЕТРОВСЬКИЙ
РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИБОРУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПІДКЛЮЧЕННЯ ТЕРМІНАЛЬНОГО ДОСТУПУ ДО ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ 164

Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, В.С. ГОНЧАРУК, К.О. КОБЕЛЬ
МЕТОД ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ EYE-TRACKING У ПРОЕКТУВАННІ ІНТЕРФЕЙСІВ КОРИСТУВАЧА 167

Н.Г. ШИРМОВСЬКА, Т.О. ВАВРИК, Г.І. ЛЕВИЦЬКА, І.Р. МИХАЙЛЮК
ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСКРЕТИЗАЦІЇ ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВИХ ПОВІДОМЛЕНЬ НА ОСНОВІ АВТОКОРЕЛЯЦІЙНИХ ФУНКЦІЙ У БАЗИСІ РАДЕМАХЕРА 176

А.А. МЯСИЩЕВ
АВТОРИЗАЦИЯ НА WEB-СЕРВЕРЕ ARDUINO ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ ИНТЕРНЕТ 183

Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, В.М. СТЕЦЮК, Я.Л. НОВИЦЬКИЙ
МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ АВТОМАТИЧНО ГЕНЕРОВАНОГО ПРОГРАМНОГО КОДУ 191

О.Ю. МЄШКОВ, О.О. НОВІКОВ, С.М. ЗЛЕПКО
МЕТОД ЛОКАЛЬНИХ МАКСИМУМІВ ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ ВОКАЛІЗОВАНИХ ДІЛЯНОК ГОЛОСОВОГО СИГНАЛУ ЛЮДИНИ 197

Х.В. ЛІП'ЯНІНА
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНТЕРНЕТ-РЕСУРСІВ ТУРИСТИЧНОЇ ГАЛУЗІ 211

О.О. КОВАЛЕНКО, А.В. ДЕНИСЮК, Д.В. ОСТАПІВ
МОДЕЛІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ТА МОНІТОРИНГУ РЕЗУЛЬТАТІВ ДІЯЛЬНОСТІ ПРАЦІВНИКІВ 216

Т.К. СКРИПНИК, С.С. ПЕТРОВСЬКИЙ, Є.Г. ОЛЕКСАНДРЕНКО
ОБРАННЯ ЕФЕКТИВНИХ ЗАСОБІВ РОЗРОБКИ WEB-ЗАСТОСУВАНЬ ДЛЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЛІКУВАННЯ ЗАКЛАДАМИ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я 221

О.В. БОРОВИК, Л.В. БОРОВИК, В.А. КРИСЬКОВ
МЕТОД РОЗКРИТТЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ У ЗАДАЧАХ ПРОТИДІЇ ДВОХ СТОРІН ПРИ КОНФЛІКТІ СТРАТЕГІЙ 225

К.М. ЯЛОВА, К.В. ЯШИНА, М.В. ТКАЧЕНКО
РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ЗГОРТКОВОЮ НЕЙРОННОЮ МЕРЕЖЕЮ 231

С.В. ЯКУБОВСКАЯ, Д.Х. ШТОФЕЛЬ, И.А. КРИВОРУЧКО, Т.А. ЧЕРНЫШОВА
ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИСХОДА ИНФАРКТА МИОКАРДА ... 237

YU.V. MALOHULKO, O.V. SIKORSKA, YU.V. SEMENIUK, V.V. HAVTIRKO
RESEARCH OF PROBLEMS OF DISTRIBUTED GENERATION SOURCES IN LOCAL POWER SYSTEMS 245

В.С. ПЕТРУШАК
РОЗРОБКА КАСКАДНИХ ПОМНОЖУВАЧІВ ЧАСТОТИ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ГЕНЕРАТОРА НА БАЗІ ПРЯМОГО МЕТОДУ СИНТЕЗУ ЧАСТОТИ 248

С.М. КВАТЕРНЮК
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНИХ ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ ДЛЯ ЗАДАЧ ЕКОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ 252

І.Г. ЦМОЦЬ, О.М. БЕРЕЗЬКИЙ, І.В. ІГНАТЄВ
МЕТОД І СТРУКТУРА ПРИСТРОЮ ПАРАЛЕЛЬНОГО ВЕРТИКАЛЬНО-ГРУПОВОГО ОБЧИСЛЕННЯ СУМИ КВАДРАТІВ РІЗНИЦЬ 256

З.Д. ГОЛУБ
СТРУКТУРА СЛОВНИКА МАРКЕРІВ ЛЕКСИЧНИХ ЗМІННИХ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ПСИХОЛОГІЧНИХ МАНІПУЛЯЦІЙ 264

ELSAYED A. ELNASHAR, BOYAN KUVANDJIEV, ANTOANETA DIMITROVA, ZLATIN ZLATEV
IMPROVING POWER FACTOR OF THREE-PHASE ASYNCHRONOUS MOTOR THROUGH CAPACITOR BANKS CONTROLLED WITH PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER 269

А.Д. СЛОБОДЯНИК, Л.Г. КОВАЛЬ, М.В. ЛИСИЙ, А.І. БІЛЮК, Я.І ЯРОСЛАВСЬКИЙ
РОЗПОДІЛ ЕНЕРГІЇ В СПЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ 276

Ю.М. ШМЕЛЕВ, С.И. ВЛАДОВ, С.Н. БОЙКО, Я.Р. КЛИМОВА, С.Я. ВИШНЕВСКИЙ
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЕСПРЕРЫВНОГО МАРКОВСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ ИМИТАЦИИ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ ВЕРТОЛЕТА МИ-8МТВ 283

А.А. ТАРАНЧУК
БАГАТОПАРАМЕТРОВИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ НА ОСНОВІ СТРИБКОПОДІБНОГО ЗБУДЖЕННЯ РУХОМОГО МЕМС -ЕЛЕМЕНТА 291

ОБМІН ПРАКТИЧНИМ ДОСВІДОМ, ТЕХНОЛОГІЯМИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Л.Г. КОВАЛЬ, М.В. БАЧИНСЬКИЙ, І.О. КРИВОРУЧКО, С.М. ГОНЧАРУК
ОСОБЛИВОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПРОЦЕСУ ПРОФЕСІЙНОГО ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНОГО ВІДБОРУ ПЕРСОНАЛУ 297

Ю.П. ЗАСПА
КОНТАКТНЕ ДИНАМО ЯК ГЕНЕРАТОР КООПЕРАТИВНИХ КОСМІЧНИХ ФОРМ РУХУ ТА МЕХАНІЗМ ОБ'ЄДНАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО, ГРАВІТАЦІЙНОГО, СИЛЬНОГО І СЛАБКОГО ПОЛІВ. ЧАСТИНА X. ПОРУШЕНА АНТИСИМЕТРІЯ, НЕТРИВІАЛЬНА ТОПОЛОГІЯ ТА НЕДЕТЕРМІНОВАНА ЕВОЛЮЦІЯ 302

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 677.055

В.Г. ЗДОРЕНКО
Київський національний університет технологій та дизайну
Н.М. ЗАЩЕПКІНА
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДИНАМІКА ГАЛЬМУВАННЯ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН З ПРИВОДОМ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЮ ФРИКЦІЙНОЮ МУФТОЮ

Перспективним напрямком підвищення ефективності роботи круглов'язальних машин є удосконалення їх механізмів, зокрема систем гальмування [1–3]. Дослідження [2, 3] показують, що продуктивність круглов'язальних машин та якість трикотажного полотна суттєво залежать від ефективності роботи систем гальмування їх привода. При цьому, в першу чергу, на ефективність роботи систем гальмування впливають динамічні навантаження, що виникають в приводі при гальмуванні [2, 3]. Об'єктом досліджень обрано привід круглов'язальної машини та динаміку гальмування круглов'язальної машини. При проведенні досліджень та вирішенні завдань, поставлених у даній роботі, були використані сучасні методи теоретичних досліджень, що базуються на теорії проектування в'язальних машин та теорії динаміки механічних систем з пружними в'язями. Зниження динамічних навантажень може бути досягнуто як вибором раціонального режиму гальмування [3, 5], так і удосконаленням самої системи гальмування [2, 3] та використання спеціальних пристроїв зниження динамічних навантажень [4, 5]. Таким чином, проблема підвищення ефективності роботи систем гальмування та методів їх проектування є однією із актуальних проблем легкого машинобудування. Для розв'язання цієї проблеми важливим є розробка таких систем гальмування, використання яких призводить до зниження динамічних навантажень привода, та методів їх розрахунку. Відомі конструкції приводів круглов'язальних машин мають спільний недолік – велику кількість обертальних мас, які знаходяться в кінематичному взаємозв'язку в момент зупинки машини, що обумовлює значний по тривалості час гальмування машини, що знижує якість трикотажного полотна і негативно впливає на довговічності та надійності роботи привода і машини в цілому. Для усунення зазначеного недоліку запропоновано привід круглов'язальної машини, що дозволяє при зупинці машини відключити від механізмів в'язання і товароприйому ряд обертальних мас приводу. В результаті дослідження: запропоновано конструкцію привода, яка дозволяє суттєво знизити інерційність його обертальних мас під час гальмування; методику, що дозволяє знайти максимальну величину динамічних навантажень в пружних в'язях приводу під час гальмування круглов'язальної машини.

Ключові слова: круглов'язальна машина, система гальмування, динаміка системи гальмування круглов'язальної машини, пристрої зниження динамічних навантажень гальмування в'язальних машин.

V.G. ZDORENKO
Kyiv National University of Technology and Design
N.N. ZASHCHEPKINA
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

DYNAMICS OF BRAKING OF CIRCULAR KNITTING MACHINES WITH A DRIVE WITH ELECTROMAGNETIC FRICTION CLUTCH

A promising direction to improve the efficiency of circular knitting machines is the improvement of their mechanisms, in particular, braking systems [1–3]. Studies [2, 3] show that the productivity of circular knitting machines and the quality of the knitted fabric depend significantly on the efficiency of the braking systems of their drive. In this case, first of all, the dynamic loads arising in the drive during braking [2, 3] affect the performance of braking systems. The object of research is the drive of a circular knitting machine and the dynamics of braking circular knitting machine. In conducting research and solving the problems posed in this paper, modern methods of theoretical research based on the theory of knitting machines design and the theory of dynamics of mechanical systems with elastic bands were used. Reduction of dynamic loads can be achieved both by choosing a rational braking regime [3, 5], and by improving the braking system itself [2, 3] and using special devices to reduce dynamic loads [4, 5]. Thus, the problem of increasing the efficiency of braking systems and methods of their design is one of the topical problems of light engineering. To solve this problem, it is important to develop such braking systems, the use of which leads to a decrease in the dynamic loads of the drive, and methods for calculating them. Known designs of circular knife drives have a common disadvantage – a large number of rotational masses that are in a kinematic relationship at the time of the machine stop, which results in a significant length of time inhibition of the machine, which reduces the quality of the knit fabric and negatively affects the durability and reliability of work drive and machine as a whole. To eliminate this disadvantage, an actuator of a circular knitting machine is proposed, which allows you to disconnect from the mechanisms of knitting and acceptance a number of rotating masses of the drive when stopping the machine. As a result of the research: the design of the drive is proposed, which allows to significantly reduce the inertia of its rotary mass during braking; a technique that allows to find the maximum value of dynamic loads in the elastic joints of the drive during the braking of a circular knitting machine.

Key words: circular knitting machine, braking system, dynamics of the braking system of a circular knitting machine, devices for reducing dynamic loads of braking knitting machines.

Особливістю круглов'язальних машин є значні моменти інерції обертальних мас їх механізмів (механізми в'язання, накатування та відтяжки полотна), що призводить до необхідності збільшення часу гальмування машин і, відповідно, до зниження якості трикотажного полотна [3, 5–10]. Як показують дослідження [1, 2, 5], з метою підвищення ефективності роботи круглов'язальних машин доцільно

удосконалювати систему їх гальмування та розвивати теорію динаміки їх гальмування. Для розв'язання цієї проблеми важливим є оцінка динамічних навантажень механізму в'язання та розробка шляхів їх зниження.

Об'єктом досліджень обрано привід круглов'язальної машини та динаміку гальмування круглов'язальної машини. При проведенні досліджень та вирішенні завдань, поставлених у даній роботі, були використані сучасні методи теоретичних досліджень, що базуються на теорії проектування в'язальних машин та теорії динаміки механічних систем з пружними в'язями.

Постановка завдання. Завданням досліджень стало удосконалення конструкції привода круглов'язальної машини з метою підвищення ефективності її гальмування та аналітичне дослідження динаміки гальмування круглов'язальної машини з приводом, що містить електромагнітну фрикційну муфту.

Результати та їх обговорення. Відомі конструкції приводів круглов'язальних машин [3, 5] мають спільний недолік – велику кількість обертальних мас, які знаходяться в кінематичному взаємозв'язку в момент зупинки машини, що обумовлює значний по тривалості час гальмування машини, що знижує якість трикотажного полотна [3] і негативно впливає на довговічності та надійності роботи привода і машини в цілому.

Для усунення зазначеного недоліку пропонується привід круглов'язальної машини [3], що дозволяє при зупинці машини відключити від механізмів в'язання і товароприйому ряд обертальних мас привода (рис. 1). Принцип роботи привода такий. Електрична схема керування привода (на рис. 1 не показана) виконана таким чином, що спершу вмикається електродвигун 1, а потім з деякою затримкою в часі (за який електродвигун досягне сталої швидкості обертання) вмикається електромагнітна фрикційна муфта 11, з'єднуючи зубчасте колесо 7 з вертикальним приводним валом 8. При цьому обертальний рух вала електродвигуна 1 за допомогою клинопасової (2, 3, 4) та зубчастої (5, 7) передач передається вертикальному приводному валу 8. Жорстко закріплені на кінцях вертикального приводного валу 8 циліндричні шестерні 9, 10 шляхом зубчастого зачеплення приводять в обертальний рух відповідно голковий циліндр механізму в'язання та механізм товароприйому, що необхідно для роботи машини – в'язання трикотажного полотна. При зупинці машини електродвигун 1 і електромагнітна фрикційна муфта 11 вимикаються, а колодкове гальмо вмикається. При цьому за рахунок відключення основних обертальних мас привода (ротора електродвигуна, клинопасової та зубчастої передач) від вертикального приводного вала здійснюється зниження динамічних навантажень привода [1, 5], що призводить до підвищення довговічності його роботи.

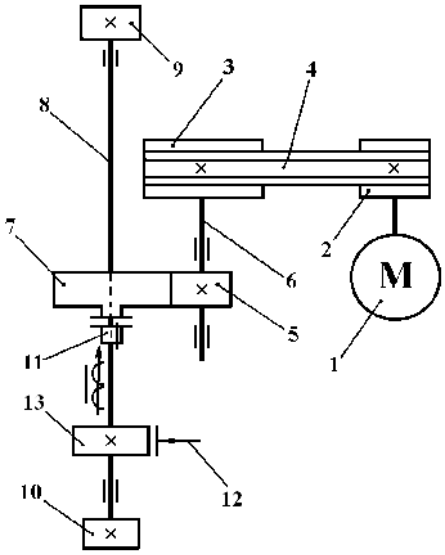


Рис. 1. Схема привода круглов'язальної машини з електромагнітною фрикційною муфтою:
1 – електродвигун; 2 – ведучий шків; 3 – ведений шків;
4 – клинові паси; 5 – ведуча шестерня;
6 – проміжний вал; 7 – зубчасте колесо; 8 – вертикальний приводний вал; 9 – шестерня в'язального механізму;
10 – шестерня товароприйомного механізму;
11 – електромагнітна фрикційна муфта;
12 – гальмо; 13 – гальмівний диск

Аналіз круглов'язальної машини з модернізованим приводом (рис. 1) показує, що при розгляді динамічного процесу гальмування її можна представити у вигляді тримасової динамічної моделі із середньою ведучою масою (рис. 2).

Критерієм черговості зупинки мас привода є параметр K [5] (першою зупиняється та маса, для якої параметр K менше):

$$K = \frac{J_i}{T_i}, \tag{1}$$

де J_i – момент інерції i-ї обертової маси;

T_i – момент опору, прикладений до i-ї маси.

Враховуючи, що для круглов'язальних машин характерним є $K_1 < K_3 < K_2$ (наприклад, для круглов'язальних машин типу КО з модернізованим приводом $K_1 = 0{,}14 \cdot 10^{-3}$; $K_2 = 5{,}91 \cdot 10^{-3}$; $K_3 = 1{,}18 \cdot 10^{-3}$ [5]), процес гальмувань буде відбуватися в три етапи наступним чином:

- перший етап: обертаються всі три маси динамічної моделі (рис. 2, а);
- другий етап: перша (середня) маса нерухома, крайні маси продовжують обертатися (рис. 2, б);
- третій етап: перша і третя маси нерухомі, друга маса продовжує обертатися до зупинки (рис. 2, в).

Оскільки максимальні динамічні навантаження при гальмуванні виникають на першому етапі гальмування [3] , розглянемо цей процес.

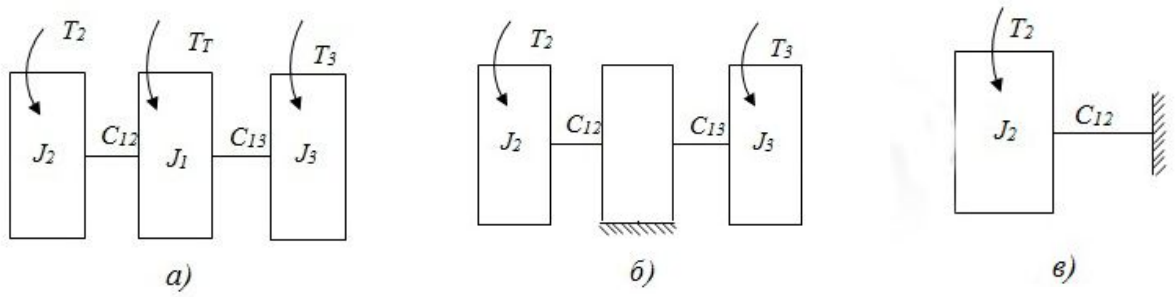


Рис. 2. Динамічна модель круглов'язальної машини з приводом з електромагнітною фрикційною муфтою: а – перший етап гальмування; б – другий етап гальмування; в – третій етап гальмування; J_1 – момент інерції (тут і далі приведені значення) обертових мас муфти та гальма; J_2 – момент інерції обертових мас механізму товароприйому; J_3 – момент інерції обертових мас механізму в'язання; T_T – момент гальма; T_2 – момент сил опору механізму товароприйому; T_3 – момент сил опору механізму в'язання; C_{12} – жорсткість ділянки вертикального приводного вала між гальмом і шестернею привода механізму товароприйому; C_{13} – жорсткість ділянки вертикального приводного вала між гальмом і шестернею привода механізму в'язання

Рівняння руху мас системи (рис. 2, а) мають вид:

$$J_1\ddot{\varphi}_1 = T_T + T_{12} + T_{13};$$
$$J_2\ddot{\varphi}_2 = T_2 - T_{12}; \qquad (2)$$
$$J_3\ddot{\varphi}_3 = T_3 - T_{13}.$$

Визначивши величини $\ddot{\varphi}_1, \ddot{\varphi}_2, \ddot{\varphi}_3$, з рівнянь (2) і підставивши їх у вирази

$$\ddot{T}_{12} = C_{12}(\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2);$$
$$\ddot{T}_{13} = C_{13}(\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_3), \qquad (3)$$

одержимо:

$$\begin{cases} \ddot{T}_{12} = \dfrac{C_{12}}{J_1 J_2}\left[(J_1 + J_2)T_{12} + J_2 T_{13} + J_2 T_t - J_1 T_2\right]; \\ \ddot{T}_{13} = \dfrac{C_{13}}{J_1 J_3}\left[J_3 T_{12} + (J_1 + J_3)T_{13} + J_3 T_T - J_1 T_3\right]. \end{cases} \qquad (4)$$

Моменти сил пружності T_{12}, T_{13}, які виникають у пружних в'язях C_{12} і C_{13} при гальмуванні машини, знаходимо, розв'язуючи систему диференціальних рівнянь (4). При цьому їх рішення представляємо у вигляді:

$$T_{ij} = Y_{ij} + a_{ij}, \qquad (5)$$

де Y_{ij} – загальне рішення однорідного рівняння, $Y_{ij} = A_{ij}\cos\beta t + B_{ij}\sin\beta t$;

A, B – постійні інтегрування;

β – частота коливання мас системи;

a_{ij} – частинне рішення неоднорідного рівнянні (постійна складова).

Постійні складові моментів сил пружності визначаються шляхом рішення системи рівнянь:

$$\begin{cases} (J_1 + J_2)a_{12} - J_2 a_{13} = J_1 T_2 - J_2 T_T; \\ J_3 a_{12} + (J_2 + J_3)a_{13} = J_1 T_3 - J_3 T, \end{cases} \qquad (6)$$

отриманої на основі рівнянь (4):

$$a_{12} = \frac{\Delta a_{12}}{\Delta a}; \; a_{13} = \frac{\Delta a_{13}}{\Delta a}, \qquad (7)$$

$$\Delta a = \begin{vmatrix} J_1 + J_2 & J_2 \\ J_3 & J_1 + J_3 \end{vmatrix}; \qquad (8)$$

$$\Delta a_{12} = \begin{vmatrix} J_1 T_2 - J_2 T_T & J_2 \\ J_1 T_3 - J_3 T_T & J_1 + J_3 \end{vmatrix}; \qquad (9)$$

$$\Delta a_{13} = \begin{vmatrix} J_1 + J_2 & J_1 T_2 - J_2 T_T \\ J_3 & J_1 T_3 - J_3 T_T \end{vmatrix}. \qquad (10)$$

Частотне рівняння коливань мас системи має вид [5]:

$$\beta^4 - (C_{12}\frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2} + C_{13}\frac{J_1 + J_3}{J_1 J_3} +)\beta^2 + C_{12}C_{13}\frac{J_1 + J_2 + J_3}{J_1 J_2 J_3} = 0. \qquad (11)$$

Розв'язуючи рівняння (11), знаходимо:

$$\beta_{1,2}{}^2 = \frac{C_{12}(J_1+J_2)}{2J_1J_2} + \frac{C_{13}(J_1+J_3)}{2J_1J_3} \pm \sqrt{\left[\frac{C_{12}(J_1+J_2)}{2J_1J_2} + \frac{C_{13}(J_1+J_3)}{2J_1J_3}\right]^2 - C_{12}C_{13}\frac{J_1+J_2+J_3}{J_1J_2J_3}} \quad . \quad (12)$$

Враховуючи початкові умови гальмування (при $t = 0$ $T_{(12)0} = T_2$; $\dot{T}_{(12)0} = 0$; $T_{(13)0} = T_3$; $\dot{T}_{(13)0} = 0$), приходимо до висновку, що постійні інтегрування B дорівнюють нулю. Тоді рішення системи рівнянь (4) можна представити у вигляді:

$$T_{12} = A_{(12)1}\cos\beta_1 t + A_{(12)2}\cos\beta_2 t + a_{12};$$

$$T_{13} = A_{(13)1}\cos\beta_1 t + A_{(13)2}\cos\beta_2 t + a_{13}. \quad (13)$$

Постійні інтегрування $A_{(12)1}$, $A_{(12)2}$ знаходимо, використовуючи систему рівнянь (4), (13) та початкові умови:

$$\begin{cases} A_{(12)1} + A_{(12)2} = T_{(12)0} - a_{12}; \\ -\beta_1{}^2 A_{(12)1} - \beta_2{}^2 A_{(12)2} = \beta_{12}{}^2 T_{(12)0} - C_{12}\left(\frac{T_{(23)0}}{J_2} + \frac{T_2}{J_2} + \frac{T_T}{J_1}\right). \end{cases} \quad (14)$$

Для знаходження постійних інтегрування $A_{(13)1}$, $A_{(13)2}$ аналогічно можна одержати:

$$\begin{cases} A_{(13)1} + A_{(13)2} = T_{(13)0} - a_{13}; \\ -\beta_1{}^2 A_{(13)1} - \beta_2{}^2 A_{(13)2} = \beta_{13}{}^2 T_{(13)0} + C_{13}\left(\frac{T_{(12)0}}{J_1} + \frac{T_T}{J_1} - \frac{T_3}{J_3}\right). \end{cases} \quad (15)$$

У системі рівнянь (14, 15) прийнято:

$$\beta_{12}{}^2 = \frac{C_{12}(J_1+J_2)}{J_1J_2}; \quad \beta_{13}{}^2 = \frac{C_{13}(J_1+J_3)}{J_1J_3}. \quad (16)$$

Запровадимо наступну заміну в рівняннях (14), (15):

$$A_1 = \beta_{12}{}^2 T_{(12)0} + C_{12}\left(\frac{T_{(13)0}}{J_1} + \frac{T_T}{J_1} - \frac{T_2}{J_2}\right);$$

$$A_2 = \beta_{13}{}^2 T_{(13)0} - C_{13}\left(\frac{T_{(12)0}}{J_1} + \frac{T_T}{J_1} - \frac{T_3}{J_3}\right). \quad (17)$$

Враховуючи (16) та початкові умови ($T_{(12)0} = T_2$, $T_{(13)0} = T_3$), знаходимо:

$$A_1 = \frac{C_{12}}{J_1}(T_2 + T_3 + T_T);$$

$$A_2 = \frac{C_{13}}{J_1}(T_2 + T_3 + T_T). \quad (18)$$

Тоді рішення системи рівнянь (14), (15) можна представити у вигляді:

$$A_{(12)1} = \frac{\Delta A_{(12)1}}{\Delta A_{12}}; \quad A_{(12)2} = \frac{\Delta A_{(12)2}}{\Delta A_{12}}; \quad (19)$$

$$A_{(13)1} = \frac{\Delta A_{(13)1}}{\Delta A_{13}}; \quad A_{(13)2} = \frac{\Delta A_{(13)2}}{\Delta A_{13}}; \quad (20)$$

де

$$\Delta A_{12} = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ -\beta_1{}^2 & -\beta_2{}^2 \end{vmatrix} = \beta_1{}^2 - \beta_2{}^2; \quad (21)$$

$$\Delta A_{(12)1} = \begin{vmatrix} T_{(12)0} - a_{12} & 1 \\ A_1 & -\beta_1{}^2 \end{vmatrix} = -(T_{(12)0} - a_{12})\beta_1{}^2 - A_1; \quad (22)$$

$$\Delta A_{(12)2} = \begin{vmatrix} 1 & T_{(12)0} - a_{12} \\ -\beta_1{}^2 & A_1 \end{vmatrix} = A_1 + (T_{(12)0} - a_{12})\beta_1{}^2; \quad (23)$$

$$\Delta A_{13} = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ -\beta_1{}^2 & -\beta_2{}^2 \end{vmatrix} = \beta_1{}^2 - \beta_2{}^2; \quad (24)$$

$$\Delta A_{(13)1} = \begin{vmatrix} T_{(13)0} - a_{13} & 1 \\ A_2 & -\beta_2{}^2 \end{vmatrix} = -(T_{(13)0} - a_{13})\beta_2{}^2 - A_2; \quad (25)$$

$$\Delta A_{(13)2} = \begin{vmatrix} 1 & T_{(13)0} - a_{13} \\ -\beta_1{}^2 & A_2 \end{vmatrix} = A_2 + (T_{(13)0} - a_{13})\beta_1{}^2. \quad (26)$$

Максимальні величини моментів сил пружності T_{12max}, T_{13max}, що виникають у приводі при гальмуванні круглов'язальної машини (рис. 1), можуть бути визначені з умов [3]:

$$T_{12max} = |A_{(12)1}| + |A_{(12)2}| + |a_{12}|;$$

$$T_{13max} = |A_{(13)1}| + |A_{(13)2}| + |a_{13}|. \quad (27)$$

Коефіцієнти динамічних перевантажень K_{12}, K_{13} пружних в'язях C_{12}, C_{13} привода при гальмуванні

машини визначаються з рівнянь:

$$K_{12} = \frac{T_{12\,max}}{T_2}\ ;\ K_{13} = \frac{T_{13\,max}}{T_3}. \qquad (28)$$

Висновки. Аналізуючи результати досліджень, можемо зробити наступні висновки:

- запропонована конструкція привода дозволяє суттєво знизити інерційність його обертальних мас під час гальмування, що позитивно впливає на динаміку гальмування круглов'язальної машини;
- запропонована методика дозволяє знайти максимальну величину динамічних навантажень в пружних в'язях привода, що виникають під час гальмування круглов'язальної машини, та оцінити ефективність модернізації привода;
- запропонована методика доповнює теорію проектування в'язальних машин і буде корисною як при удосконаленні діючих, так і при проектуванні нових конструкцій круглов'язальних машин.

Література

1. Здоренко В.Г. Зниження динамічних навантажень в приводі в'язальних машин / В.Г. Здоренко, Н.М. Защепкіна // Вісник ХНУ. – 2015. – № 6 (92). – С. 47–51.
2. Здоренко В.Г. Вплив конструкції системи гальмування круглов'язальної машини на ефективність роботи та вибір її параметрів / В.Г. Здоренко, Н.М. Защепкіна // Вісник ХНУ. – 2017. – № 2 (247). – С. 63–66.
3. Чабан В.В. Приводи в'язальних машин (нові розробки та елементи розрахунків) / В.В. Чабан, Б.Ф. Піпа, О.В. Чабан. – К. : КНУТД, 2016. – 452 с.
4. Здоренко В.Г. Ефективність використання відцентрової фрикційної муфти для зниження динамічних навантажень в приводі в'язальних машин / В.Г. Здоренко, Н.М. Защепкіна // Вісник КНУТД. – 2016. – № 2 (96). – С. 34–40.
5. Піпа Б.Ф. Приводи в'язальних машин і автоматів з пристроями зниження динамічних навантажень (наукові основи та інженерні методи проектування) / О.В. Чабан, С.В. Музичишин. – К. : КНУТД, 2015. – 280 с.
6. Защепкіна Н.М. Підвищення стабільності відтяжки полотна круглов'язальної машини / Н.М. Защепкіна, Б.Ф. Піпа // Вісник ХНУ. – 2013. – № 3. – С. 84–86.
7. Защепкіна Н.М. Вплив конструкції системи гальмування круглов'язальної машини на ефективність роботи та вибір її параметрів / Н.М. Защепкіна, В.Г. Здоренко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. – № 2. – С. 63–66.
8. Здоренко В.Г. Ефективність використання відцентрової фрикційної муфти для зниження динамічних навантажень в приводі в'язальних машин / В.Г. Здоренко, Н.М. Защепкіна // Вісник КНУТД. – 2016. – № 2 (96). – С. 34–40.
9. Защепкіна Н.М. Інженерні методи проектування заданих властивостей матеріалів : монографія / Защепкіна Н.М. – Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2016. – 207 с.
10. Здоренко В.Г. Зниження динамічних навантажень в приводі в'язальних машин / В.Г. Здоренко, Н.М. Защепкіна // Вісник КНУТД. –2015. – № 6. – С. 47–50.

References

1. Zdorenko V.G., Zashepkina N.M. Reducing dynamic loads in the drive knitting machines // Herald Of Khmelnytskyi National University. - 2015. – №. 6 (92). – p.47-51.
2. Zdorenko V.G., Zashepkin N.M. Influence of the design of the braking system of a circular knitting machine on the efficiency and choice of its parameters // Herald Of Khmelnytskyi National University. – 2017. – № 2 (247). – P.63-66.
3. Chaban V.V. Drives of knitting machines (new developments and elements of calculations) / V.V. Chaban, B.F. Pipa, O.V. Shepherd. – K.: KNUTD, 2016. – 452 p.
4. Zdorenko V.G., Zashepkina N.M. Efficiency of using a centrifugal friction clutch to reduce the dynamic loads in the drive knitting machines // Vesnik KNUTD. – 2016. – № 2 (96). – P. 34-40
5. Pipa BF Drives of knitting machines and machines with devices for reducing dynamic loads (scientific bases and engineering design methods) / O.V. Chaban, S.V. Muzychishin. K.: KNUTD. 2015. – 280 p.
6. Zashepkina N.M., Pipa B.F. Increasing the stability of the drawing of the canvas of a circular knitting machine // Vestnik KhNU. – 2013. – №. 3. – P. 84-86.
7. Zashepkina NM, Zdorenko V.G. Influence of the design of the braking system of a circular knitting machine on efficiency and choice of its parameters // Herald Of Khmelnytskyi National University. № 2 –2017. – P. 63-66.
8. Zdorenko V.G., Zashepkina N.M. Efficiency of using a centrifugal friction clutch to reduce the dynamic loads in the drive knitting machines // Vesnik KNUTD. - 2016 - No. 2 (96). - P. 34-40.
9. Zashchepkin N.M. Engineering methods of designing the given properties of materials. Monograph. LLC "Nilan-LTD", Vinnytsia. – 2016. – 207 p.
10. Zdorenko V.G., Zashepkina N.M. Reduction of dynamic loads in the drive of knitting machines // Vesnik KNUTD. – №. 6. – 2015 . – P. 47-50.

Рецензія/Peer review : 02.02.2018 р. Надрукована/Printed :27.03.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Б.М. Злотенко

УДК 685.31

В.Ю. ЩЕРБАНЬ, Н.І. МУРЗА, А.М. КИРИЧЕНКО, Г.В. МЕЛЬНИК, М.І. ШОЛУДЬКО
Київський національний університет технологій та дизайну

ВЗАЄМОДІЯ ТЕКСТИЛЬНИХ НИТОК З НАПРЯМНИМИ ВЕЛИКОЇ КРИВИНИ У ВИПАДКУ НАЯВНОСТІ РАДІАЛЬНОГО ОХОПЛЕННЯ

В роботі наведені результати досліджень процесу взаємодії текстильних ниток з напрямними поверхнями великої кривини у випадку наявності радіального охоплення з урахуванням жорсткості на згин, деформації в зоні контакту, нелінійної залежності коефіцієнту тертя від вхідного натягу та радіусу кривини поверхні в нормальній площині. Отримані результати використовувалися для удосконалення технологічних процесів швейної та текстильної промисловості.

Ключові слова: текстильна нитка, направляюча поверхня, кривина, тертя, радіальне охоплення.

V.YU. SCHERBAN, N.I. MURZA, A.N. KIRICHENKO, G.V. MELNIK, M.I. SHOLUDKO
Kyiv National University of Technologies and Design

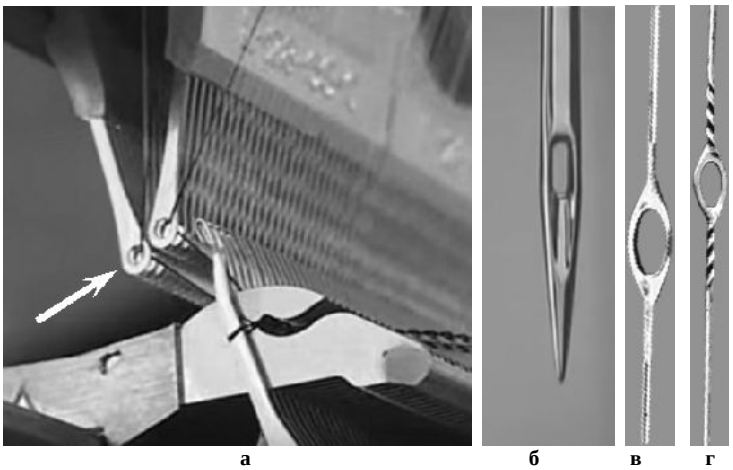
INTERACTION OF TEXTILE FILAMENTS WITH DIRECTING THE BIG CURVATURE IN THE CASE OF PRESENCE OF RADIAL SCOPE

In the process of processing filaments co-operate with the sending surfaces of large curvature. The arising up here loadings in the area of contact can result in the precipice of filament. Research of this process will allow to minimize the value of pull and develop the rational constructions of sending large curvature. An important value has a decision of this task for the improvement of technological processes of textile and sewing industry from position of increase of the productivity of technological equipment and quality of the produced products. Thus, a theme of this article is important, which has an important value for the improvement of the system of serve of filament on a technological equipment. Installations and research methods. At processing on the technological equipment of filament co-operate with the sending surfaces of large curvature. Absence of researches of process of co-operation of filament with the sending surfaces of large curvature taking into account inflexibility on a bend, to deformation in the area of contact, to nonlinear dependence from an entrance pull and radius of curvature of surface does not allow the coefficient of friction to set dependence of initial pull of filament on the radius of curvature of sending surface of large curvature, entrance pull, corner of scope, type of raw material taking into account correlation of radius of filament and internal radius and to optimize the geometrical sizes of sending. The lead through of such researches will allow to minimize a pull in the process of work of technological equipment and promote the productivity. Theoretical basis at the decision of scientific and technical problem are labours in industries of technology of textile and knitting productions, textile materials, mechanics of filament, theory of resiliency, mathematical design. Practical value. Optimization of pull of textile filament before the working area of technological equipment from position of his minimization allows to decrease the precipices of filaments, time of stop of technological equipment and to promote quality of the produced products.

Keywords: textile filament, sending surface, curvature, friction, radial scope.

Вступ

Актуальність. В процесі переробки нитки взаємодіють з направляючими поверхнями великої кривини. На рис. 1 а-г представлені такі випадки, коли має місце радіальне охоплення нитки направляючою поверхнею[1–3, 5, 6]. Виникаючі при цьому навантаження в зоні контакту можуть призводити до обриву нитки. Дослідження цього процесу дозволить мінімізувати значення натягу та розробити раціональні конструкції направляючих великої кривини. Вирішення цієї задачі має важливе значення для удосконалення технологічних процесів текстильної та швейної промисловості з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості продукції що випускається [1, 4, 6]. Таким чином, тема даної статті є актуальною, яка має важливе значення для удосконалення системи подачі нитки на технологічному устаткуванні.



а б в г

Рис. 1. Робочі органи технологічних машин: а – вушковини гребінок осново′язальної машини; б – голка швейної машини; в, г – галева ремізних рамок ткацького верстата

Об'єкти і методи дослідження. При переробці на технологічному устаткуванні нитки взаємодіють з направляючими поверхнями великої кривини (рис. 1а-г) [1, 3, 5, 6, 8–14]. Відсутність досліджень процесу взаємодії нитки з направляючими поверхнями великої кривини з урахуванням жорсткості на згин, деформації в зоні контакту, нелінійної залежності коефіцієнту тертя від вхідного натягу та радіусу кривини поверхні в нормальній площині не дозволяє встановити залежність вихідного натягу нитки від радіусу кривини направляючої поверхні великої кривини, вхідного натягу, кута охоплення, виду сировини з урахуванням співвідношення радіусу перетину нитки та внутрішнього радіусу спрямовувача та оптимізувати геометричні розміри

направляючої. Проведення таких досліджень дозволить мінімізувати натяг в процесі роботи технологічного устаткування і підвищити продуктивність [6–14]. Теоретичною основою при вирішенні науково-технічної проблеми є праці в галузях технології текстильного та трикотажного виробництв, текстильного матеріалознавства, механіки нитки, теорії пружності, математичного моделювання [1, 3, 5, 6, 7–14].

Практичне значення. Оптимізація натягу текстильної нитки перед робочою зоною технологічного устаткування (зона в′язання, формування тканини, зшивання деталей одягу) з позиції його мінімізації дозволяє зменшити обриви ниток, час зупинки технологічного устаткування і підвищити якість продукції що випускається [1–3].

Постановка завдання

Встановити залежності вихідного натягу текстильної нитки від радіусу кривини направляючої поверхні великої кривини, вхідного натягу, кута охоплення, виду сировини з урахуванням співвідношення радіусу перетину нитки та внутрішнього радіусу спрямовувача з урахуванням жорсткості на згин, деформації в зоні контакту, нелінійної залежності коефіцієнту тертя від вхідного натягу та радіусу кривини поверхні в нормальній площині.

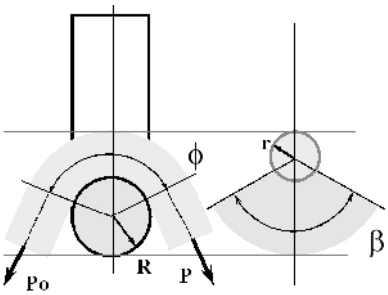


Рис. 2. Загальна розрахункова схема

Основна частина

На рис. 2 показана загальна розрахункова схема. Нитка радіусу r огинає циліндричну напрямну поверхню радіусу R. Вхідний натяг нитки дорівнює P_0, а вихідний натяг нитки дорівнює P.

Результати та їх обговорення

На рис. 1 показана загальна розрахункова схема. Нитка огинає циліндричну напрямну поверхню радіусу R. Вхідний натяг нитки дорівнює P_0, а вихідний натяг нитки дорівнює P. Кут охоплення ниткою циліндричної напрямної дорівнює $\varphi = \varphi_P + \varphi_{см1} + \varphi_{см2} - \varphi_{иж1} - \varphi_{иж2}$, де φ_P – кут охоплення ниткою напрямної без урахування зминання та жорсткості на згин (на рис.1 $\varphi_P = \pi$); $\varphi_{см1}, \varphi_{см2}$ – кути, на які збільшується кут φ_P за рахунок деформації зминання в зоні контакту нитки з напрямною; $\varphi_{иж1}, \varphi_{иж2}$ – кути, на які зменшується кут φ_P за рахунок наявності жорсткості нитки на згин.

Пошук взаємозв'язку між натягом ведучої P та веденої P_0 гілки нитки необхідно починати з встановлення залежності між натягом P_0 та натягом в точці P_A та натягом P та натягом в точці P_B. На цих ділянках вільні гілки нитки підкорюються законам пружних на згин одновимірних об'єктів. Зв'язок між натягами в цих точках має вигляд

$$P_A = P_0\left[1 - \frac{\left(\frac{E\pi}{64}\sum_{i=1}^{w} d_i^4\right)^{(1+u_1K^{u_2}}}{2P_0[R + r(1-\delta_0)]^2}\right],\ P_B = P\left[1 - \frac{\left(\frac{E\pi}{64}\sum_{i=1}^{w} d_i^4\right)^{(1+u_1K^{u_2}}}{2P[R + r(1-\delta)]^2}\right] \quad (1)$$

де $(\frac{E\pi}{64}\sum_{i=1}^{w} d_i^4)^{j(K)}$ – коефіцієнт жорсткості нитки на згин; E – модуль пружності нитки на розтягнення; d_i – діаметри окремого елементарного волокна (філамента), з яких складається комплексна нитка чи пряжа; w – кількість філаментів, з яких складається пряжа; $j(K) = 1 + u_1K^{u_2}$, – коефіцієнт, який залежить від крутки K нитки; δ, δ_0 – відносна деформація перетину нитки в точках її сходу та входу на напрямну; u_1, u_2 – деякі постійні коефіцієнти.

Перейдемо для визначення взаємозв'язку між натягом нитки у точка A та B. На цій ділянці нитка буде взаємодіяти з циліндричною напрямною поверхнею.

Система диференційних рівнянь, яка описує рівновагу нескінченно малого елемента нитки $ds = (R + r)d\varphi$ (s – дугова координата) має вигляд [1–3, 8=14]

$$\frac{dP}{ds} = F_{TP}, \quad N = b_1E_1\delta, \quad \frac{P}{[R + r(1-\delta)]} = N, \quad (2)$$

де P – натяг нитки; F_{mp} – сила тертя, яка діє на нескінченно малий елемент нитки; N – питома нормальна реакція напрямної поверхні; s – дугова координата; b_1 – ширина сліду контакту нитки з напрямною поверхнею; E_1 – модуль пружності нитки при стисканні [1, 3] .

Дослідження, проведені в цьому напрямку [1, 3, 4], свідчать про те, що сила та коефіцієнт тертя

нелінійно залежать від попереднього натягу, кута охоплення ниткою напрямної, діаметру циліндричної напрямної [1, 3, 7].

Виходячи з цього силу тертя F_{mp} та коефіцієнт тертя f можна представити наступними залежностями

$$F_{TP} = f_{ПР} N^n, \; f = \frac{a}{b\varphi^{n_1}}, \; f_{ПР} = \frac{4\sin(\frac{\beta}{2})}{\beta + \sin(\beta)} \frac{a}{b\varphi^{n_1}}. \tag{3}$$

де n, a, b, n_1 – деякі константи, значення яких залежить від виду матеріалів нитки та напрямної та умов взаємодії між ними; $f_{ПР}$ – приведений коефіцієнт тертя; β – радіальний кут охоплення нитки поверхнею напрямної[5, 6]; f – коефіцієнт тертя при відсутності радіального охоплення. Так значення n знаходиться в межах $2/3 \le n \le 1$ [1, 3]. Коли $n_1 = 0$, то з другого рівняння системи (3) будемо мати $f = a/b$.

З системи (2) виключимо значення питомої нормальної реакції

$$\frac{P}{[R + r(1-\delta)]} = b_1 E_1 \delta. \tag{4}$$

Підставляємо (4) в перше рівняння системи (2), з урахуванням (3), отримаємо

$$\frac{d}{ds}\{[R + r(1-\delta)] b_1 E_1 \delta\} = \frac{a}{b\varphi^{n_1}} \frac{4\sin(\frac{\beta}{2})}{\beta + \sin(\beta)} (b_1 E_1)^n (\delta)^n.$$

Проінтегруємо останнє диференційне рівняння, отримаємо

$$(\delta)^{1-n} = (\delta_0)^{1-n} + \frac{(1-n) a (b_1 E_1)^{n-1}}{b(1-n_1)} \frac{4\sin(\frac{\beta}{2})}{\beta + \sin(\beta)} \varphi^{1-n_1}. \tag{5}$$

Використовуючи правило Лопіталя та граничний перехід при $n \to 1$, $n_1 = 0$ $f = \frac{a}{b}$ отримаємо

$$\delta = \delta_0 e^{f \frac{4\sin(\frac{\beta}{2})}{\beta + \sin(\beta)} \varphi}. \tag{6}$$

Підставляємо (6) в перше рівняння системи (2), з урахуванням першого рівняння системи (3), будемо мати при $n = 1$

$$P_B = P_A \left[1 + \frac{(R + r)}{[R + r(1-\delta_0)]} (e^{f \frac{4\sin(\frac{\beta}{2})}{\beta + \sin(\beta)} \varphi} - 1) \right]. \tag{7}$$

Вирішуємо (7) разом з системою рівнянь (1), тоді

В остаточному вигляді будемо мати

$$P = P_0 \left[1 + \frac{(R + r)}{[R + r(1-\delta_0)]} \left(e^{f \frac{4\sin(\frac{\beta}{2})}{\beta + \sin(\beta)} \varphi} - 1 \right) \right] + \left[\frac{\left(\frac{E\pi}{64} \sum_{i=1}^{w} d_i^4 \right)^{(1+u_1 K^{u_2})}}{2[R + r(1-\delta)]^2} \right] - \left[\frac{\left(\frac{E\pi}{64} \sum_{i=1}^{w} d_i^4 \right)^{(1+u_1 K^{u_2})}}{2[R + r(1-\delta_0)]^2} \right] \times$$
$$\times \left[1 + \frac{(R + r)}{[R + r(1-\delta_0)]} \left(e^{f \frac{4\sin(\frac{\beta}{2})}{\beta + \sin(\beta)} \varphi} - 1 \right) \right]. \tag{8}$$

Кут $\varphi = \varphi_P + \varphi_{см1} + \varphi_{см2} - \varphi_{иж1} - \varphi_{иж2}$, можна розрахувати з використанням формул [1–3]

$$\varphi_{см1} = \arccos\left[1-\delta_0\left(\frac{2r}{R}\right)^2\right], \quad \varphi_{см2} = \arccos\left[1-\delta\left(\frac{2r}{R}\right)^2\right],$$
$$\varphi_{иж1} = \arccos\left[1-\frac{B}{2P_0(R+r)^2}\right], \quad \varphi_{иж2} = \arccos\left[1-\frac{B}{2P(R+r)^2}\right]. \tag{9}$$

Рівняння (8) необхідно вирішувати з використанням систем (2), (9). Отримана система рівнянь представляє трансцендентне рівняння $f(P)=0$ відносно P. Для його вирішення використовувалися чисельні методи з застосуванням метода дихотомії. Для цього було розроблено спеціальне програмне забезпечення.

На рис. 3 представлені графічні залежності натягу ведучої гілки нитки P для: капронової комплексної нитки 174 Т (1 крива), B =1,3 сН·мм^2, P_0 =10 сН, r =0,24 мм, R =0,5…10 мм, φ_p =3,14 рад, n =0,82, β=; віскозної штапельної пряжі 93,5 Т(2 крива), B =1,2 сН·мм^2, P_0 =10 сН, r =0,2 мм, R =0,5…10 мм, φ_p =3,14 рад, n =0,85, β= ; бавовняної пряжі 100 Т(3 крива), B =2,5 сН·мм^2, P_0 =10 сН, r =0,21 мм, R =0,5…10 мм, φ_p =3,14 рад, n =0,78, β= .

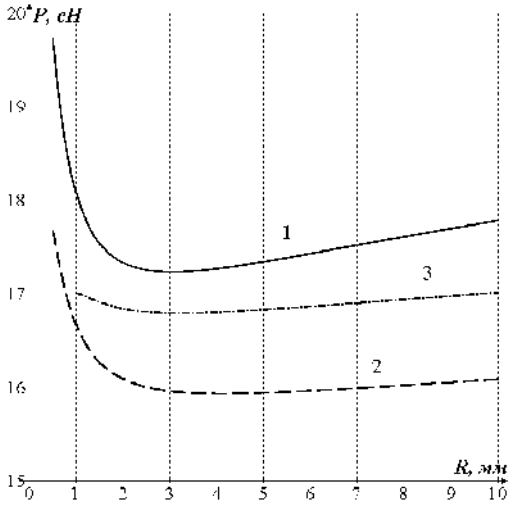


Рис. 3. Залежності натягу P ведучої гілки нитки від радіусу циліндричної напрямної

Аналіз графічних залежностей на рис.3 показав, що натяг ведучої гілки нитки для трьох обраних зразків змінюється при зростанні радіусу кривини напрямної. На першій ділянці, при зміні радіусу з 0.5 до 2–5 мм, натяг зменшується. Це пов'язано зі зміною сумарного кута охоплення. Мінімальне значення натягу для капронової комплексної нитки 174 Т буде коли радіус дорівнюватиме 2.6 мм, для віскозної штапельної пряжі 93,5 Т коли радіус дорівнюватиме 3.8 мм та для бавовняної пряжі 100Т коли радіус дорівнюватиме 2.9 мм. При подальшому зростанні радіусу напрямної буде відбуватися поступове зростання натягу. Це пояснюється зміною орієнтації окремих філаментів відносно утворюючої поверхні [1, 3, 6]. Таким чином, постає питання про оптимізацію розмірів направляючих машин текстильної промисловості.

Висновки

Отримані залежності вихідного натягу текстильної нитки від радіусу кривини направляючої поверхні великої кривини, вхідного натягу, кута охоплення, виду сировини з урахуванням співвідношення радіусу перетину нитки та внутрішнього радіусу спрямовувача з урахуванням жорсткості на згин, деформації в зоні контакту, нелінійної залежності коефіцієнту тертя від вхідного натягу та радіусу кривини поверхні в нормальній площині.

Література

1. Щербань В.Ю. Алгоритмічні, програмні та математичні компоненти САПР в індустрії моди / В.Ю.Щербань, О.З. Колиско, М.І. Шолудько, В.Ю. Калашник. – К. : Освіта України, 2017. – 745 с.

2. Щербань В. Ю. Математичні моделі в САПР. Обрані розділи та приклади застосування / В. Ю. Щербань, С. М. Краснитський, В. Г. Резанова. – К. : КНУТД, 2011. – 220 с.

3. Щербань В.Ю. Механика нити / В.Ю. Щербань, О.Н. Хомяк, Ю.Ю. Щербань. – К. : Бібліотека офіційних видань, 2002. – 196 с.

4. Щербань В.Ю. Оптимізація процесу взаємодії нитки з напрямними з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей / В.Ю. Щербань, М.І. Шолудько, О.З. Колиско, В.Ю. Калачник // Вісник

Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 3(225). – С. 30–33.

5. Щербань В.Ю. Визначення приведеного коефіцієнту тертя для кільцевих та трубчатих спрямовувачів нитки трикотажних машин / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 6(255). – С. 23–27.

6. Щербань В.Ю. Визначення натягу нитки при її взаємодії з трубчастими спрямовувачами / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 1 (257). – С. 213–217.

7. Щербань В.Ю. Дослідження впливу матеріалу нитки і анізотропії тертя на її натяг і форму осі / В.Ю. Щербань, В.Ю. Калашник, О.З. Колиско, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 2(223). – С. 25–29.

8. Колиско М.І. Визначення впливу зминання та жорсткості на згин на натяг нитки при її взаємодії з циліндричною напрямною/ М.І. Колиско, В.Ю. Щербань // Вісник ХНУ. – 2013. – № 6. – С. 10–13.

9. Щербань В.Ю. Порівняльний аналіз роботи нитконатягувачів текстильних машин / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 6(243). – С. 18–21.

10. Щербань В.Ю. Ефективність роботи компенсаторів натягу нитки трикотажних машин / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 1(245). – С. 83–86.

11. Scherban V. Interaction yarn guide surface / V.Scerban, M. Sholudko, V. Kalashnik, O. Kolisko // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May 2015. – Volume 4.– Number 3. – pp. 10–15.

12. Scherban V. Kinematics of threads cooperates with the guiding surfaces of arbitrary profile / V. Scherban, N. Murza, O. Kolisko, M. Sheludko, I. Semenova // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May/June – 2016. – Volume 5.– Number 3. – pp. 23–27.

13. Scherban V. Basic parameters of curvature and torsion of the deformable thread in contact with runner / V. Scherban, N. Murza, A. Kirichenko, O. Kolisko, M. Sholudko // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – Nov/Des – 2016. – Volume 10.– Number 2. – pp. 18–23.

14. Scherban V. Equalizations of dynamics of filament interactive with surface / V. Scherban, G. Melnik, A. Kirichenko, O. Kolisko, M. Sheludko // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – January/February 2017. – Volume 6. – Number 1. – pp. 22–26.

References

1. Scherban V.Yu. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry / V.Yu. Scherban, O.Z. Kolisko, M.I. Sholudko, V.Yu. Kalashnik. - K.: Education of Ukraine, 2017. - 745 p.

2. Scherban V. Yu. Mathematical Models in CAD. Selected sections and examples of application / V. Yu. Scherban, S. M. Krasnitsky, V. G. Rezanov. - K.: KNUTD, 2011. - 220 p.

3. Scherban V.Yu. Mechanics of Threads/ V.Yu. Scherban, O.N. Khomyak, Yu.Yu. Scherban. - K .: Library of Official Publications, 2002.- 196 p.

4. Scherban V.Yu., Sholudko M.I., Kolisko O.Z., Kalashnik V.Yu.. Optimization of the process of interaction of a thread with guides, taking into account the anisotropy of frictional properties. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. Khmelnitskyi. 2015. Volume 225. Issue 3. pp. 30-33.

5. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Melnik G.V., Sholudko M.I. Determination of friction coefficient factor for rings and tubular trailers of thread of knitted machines. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. Khmelnitskyi. 2017. Volume 255. Issue 6. pp. 23-27.

6. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Melnik G.V., Sholudko M.I. Determination of tension at its interaction with tubular guides. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. Khmelnitskyi. 2018. Volume 257. Issue 1. pp. 213-217.

7. Scherban V.Yu., Kalashnik V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I.. Investigation of the influence of the thread material and the anisotropy of friction on its tension and the shape of the axisю. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2015. Volume 223. Issue 2. pp. 25-29.

8. Kolisko M.I., Scherban V.Yu.. Determination of the effect of folding and stiffness on the bend on the tension of the thread when it interacts with the cylindrical guide. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. Khmelnitskyi. 2013. Issue 6. pp. 10-13.

9. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Sholudko M.I.. Comparativec analysis of work of natyazhiteley of filament of textile machines. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. Khmelnitskyi. 2016. Volume 243. Issue 6. pp. 18-21.

10. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Sholudko M.I.. Overall performance of compensators of the filament of knitted cars. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. Khmelnitskyi. 2017. Volume 245. Issue 1. pp. 83-86.

11. Scherban V. Interaction yarn guide surface / V.Scerban, M. Sholudko, V. Kalashnik, O. Kolisko // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May 2015. – Volume 4. - Number 3. – pp. 10-15.

12. Scherban V. Kinematics of threads cooperates with the guiding surfaces of arbitrary profile / V. Scherban, N. Murza, O. Kolisko, M. Sheludko, I. Semenova // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May/June - 2016. – Volume 5. - Number 3. – pp. 23-27.

13. Scherban V. Basic parameters of curvature and torsion of the deformable thread in contact with runner / V. Scherban, N. Murza, A. Kirichenko, O. Kolisko, M. Sholudko // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – Nov/Des - 2016. – Volume 10. - Number 2. – pp. 18-23.

14. Scherban V. Equalizations of dynamics of filament interactive with surface / V. Scherban, G. Melnik, A.Kirichenko, O. Kolisko, M. Sheludko // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – January/February 2017. – Volume 6. – Number 1. – pp. 22-26.

Отримана/Received : 12.03.2018 р. Надрукована/Printed :24.3.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.Г. Здоренко

УДК 677.055

С.А. ПЛЕШКО, Ю.А. КОВАЛЬОВ
Київський національний університет технологій та дизайну

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ В'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН З ЕЛЕМЕНТАМИ НА ПРУЖНІЙ ОСНОВІ

Робочі органи механізмів в'язання в'язальних машин відносяться до найбільш відповідальних елементів, що зумовлюють ефективність роботи в'язальних машин (продуктивність машин та якість трикотажного полотна). Підвищення ефективності роботи робочих органів залежить, в першу чергу, від динамічних навантажень, що виникають в зоні їх взаємодії. При цьому основним фактором, що суттєво впливає на динаміку взаємодії робочих органів, є жорсткість їх робочих поверхонь. В результаті виконаних досліджень розроблено теоретичні основи проектування робочих органів в'язальних машин з пружними елементами. Результати досліджень можуть бути використані при розробці нових конструкцій робочих органів механізмів в'язання в'язальних машин та удосконаленні існуючих.

Ключові слова: в'язальна машина, механізм в'язання, робочі органи механізмів в'язання, пружна основа робочих органів, динамічні навантаження робочих органів.

S.F. PLESHKO, Y.F. KOVALEV
Kyiv National University of Technology and Design

THEORETICAL BASES OF DESIGNING OF WORKING BODIES OF KNITTING MACHINES WITH ELEMENTS ON AN ELASTIC FOUNDATION

The working organs of knitting mechanisms knitting machines are among the most crucial elements that determine the efficiency of knitting machines (machine productivity and knitted fabric quality). The increase in the efficiency of the working bodies depends primarily on the dynamic loads that arise in the zone of their interaction. At the same time, the stiffness of their working surfaces is the main factor that significantly affects the dynamics of the interaction of the working organs. As a result of the performed researches the theoretical bases of designing of working bodies of knitting machines with elastic elements are developed. The results of the research can be used in the development of new structures of the working mechanisms of knitting machines and the improvement of existing ones.

Key words: knitting machine, knitting mechanism, working mechanisms of knitting mechanisms, elastic base of working organs. dynamic loads of working organs.

Перспективним напрямком підвищення ефективності роботи в'язальних машин є зниження динамічних навантажень, що виникають при взаємодії робочих органів (голок з клинами) [1, 2]. Як показують дослідження [1], одним із шляхів зниження ударних навантажень, що виникають при взаємодії голок з клинами, є зниження жорсткості робочої поверхні голки або клина. При цьому доцільно використовувати клини з робочою поверхнею, встановленою на пружній основі.

Об'єктом досліджень обрано клин в'язальної машини, робоча поверхня якого встановлена на пружній основі, та теорія його проектування. При вирішенні задач, поставлених у даній роботі, були використані сучасні методи теоретичних досліджень, що базуються на теорії проектування в'язальних машин, теорії динаміки механічних систем та теорії опору матеріалів і пружності.

Постановка завдання. Враховуючи доцільність підвищення ефективності роботи в'язальних машин шляхом удосконалення робочих органів (клинів), стаття присвячена розвитку теорії проектування клинів з робочими елементами, встановленими на пружній основі, та інженерних методів їх проектування.

Результати і їх обговорення. Як показують дослідження [1], підвищення ефективності роботи клинів можна досягти шляхом зниження жорсткості його ділянки, розташованої в зоні взаємодії з голками.

Проаналізуємо ефективність використання клинів з робочими елементами на пружній основі.

Як відомо [1], при використанні клинів із пружною основою жорсткість C пари голка-клин може бути визначена з виразу:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}, \tag{1}$$

де C_1, C_2 – жорсткість робочих елементів відповідно голки та клина (пружного елемента).

Очевидно:

$$C_2 = F/\delta, \tag{2}$$

де F – сила удару голки об клин;

δ – деформація робочої поверхні клина (пружного елемента) в зоні удару голки.

З метою визначення δ скористаємося теорією деформації балки на пружній основі [3, 4]. Розрахункова схема для визначення деформації робочої грані клина представлена на рис. 1.

Рівняння вигнутої осі балки (грань клина) на пружній основі може бути представлена у вигляді [4]:

$$Y(X) = \delta_0 Y_1\left(\frac{X}{L}\right) + \theta_0 L Y_2\left(\frac{X}{L}\right) + \frac{1}{EJ}\left\{M_0 L^3 Y_3\left(\frac{X}{L}\right) + Q_0 L^3 Y_4\left(\frac{X}{L}\right) - L^3 \sum F_i Y_4\left(\frac{X-a}{L}\right)\right\}, \tag{3}$$

де $\delta_0, \theta_0, M_0, Q_0$ – початкові параметри (прогин балки, кут повороту перетину балки, згинальний момент і поперечна сила) в обраному початку координат (X =0);

$Y_1\left(\frac{X}{L}\right)$, $Y_2\left(\frac{X}{L}\right)$, $Y_3\left(\frac{X}{L}\right)$, $Y_4\left(\frac{X}{L}\right)$ – гіперболічні функції,

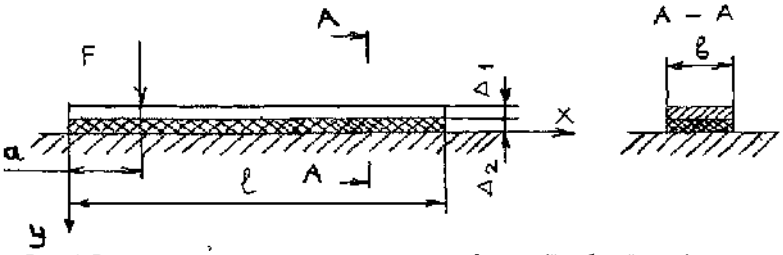


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення деформації робочої грані клина

$$Y_1\left(\frac{X}{L}\right)=ch\frac{X}{L}cos\frac{X}{L};\quad Y_2\left(\frac{X}{L}\right)=\frac{1}{2}\left(ch\frac{X}{L}sin\frac{X}{L}+sh\frac{X}{L}cos\frac{X}{L}\right);$$

$$Y_3\left(\frac{X}{L}\right)=\frac{1}{2}sh\frac{X}{L}sin\frac{X}{L};\quad Y_4\left(\frac{X}{L}\right)=\frac{1}{4}\left(ch\frac{X}{L}sin\frac{X}{L}-sh\frac{X}{L}cos\frac{X}{L}\right); \tag{4}$$

$$L=\sqrt[4]{\frac{4EJ}{\alpha}}; \tag{5}$$

E – модуль пружності матеріалу робочої грані клина;
J – момент інерції перетину робочої грані клина;
α – коефіцієнт пропорційності (коефіцієнт "постелі") пружної основи;
F_i – i-а сила, що діє на робочу грань клина;
a_i – відстань i-ї сили від початку координат.

Стосовно нашого випадку (рис. 1), де $M_0 = 0$; $Q_0 = 0$, рівняння (3) приймає вид:

$$Y(X)=\delta_0 Y_1\left(\frac{X}{L}\right)+\theta_0 L Y_2\left(\frac{X}{L}\right)+\frac{1}{EJ}L^3 F Y_4\left(\frac{X-a}{L}\right). \tag{6}$$

Рівняння згинальних моментів та перерізуючих сил, що діють у перетинах робочої поверхні клина (сталева пластина), мають вигляд:

$$M(X)=\alpha L^2\delta_0 Y_3\left(\frac{X}{L}\right)+\alpha\theta_0 L^3 Y_4\left(\frac{X}{L}\right)-LFY_2\left(\frac{X-a}{L}\right); \tag{7}$$

$$Q(X)=\alpha L\delta_0 Y_2\left(\frac{X}{L}\right)+\alpha\theta_0 L^2 Y_3\left(\frac{X}{L}\right)-FY_1\left(\frac{X-a}{L}\right). \tag{8}$$

Для випадку $X=l$, коли $M(X)=0$, $Q(X)=0$, рівняння (7), (8) приймають вид:

$$\alpha L^2\delta_0 Y_3\left(\frac{X}{L}\right)+\alpha\theta_0 L^3 Y_4\left(\frac{X}{L}\right)-LFY_2\left(\frac{X-a}{L}\right)=0; \tag{9}$$

$$\alpha L\delta_0 Y_2\left(\frac{X}{L}\right)+\alpha\theta_0 L^2 Y_3\left(\frac{X}{L}\right)-FY_1\left(\frac{X-a}{L}\right)=0. \tag{10}$$

Розв’язуючи систему рівнянь (9), (10), знаходимо:

$$\delta_0=\frac{F}{\alpha L}\gamma;\quad \theta_0=\frac{F}{\alpha L^2\beta}, \tag{11}$$

де

$$\gamma=\frac{\dfrac{Y_2\left(\frac{l-a}{L}\right)}{Y_3\left(\frac{l}{L}\right)}-\dfrac{Y_4\left(\frac{l}{L}\right)Y_1\left(\frac{l-a}{L}\right)}{\left[Y_3\left(\frac{l}{L}\right)\right]^2}}{l-\dfrac{Y_4\left(\frac{l}{L}\right)Y_2\left(\frac{l}{L}\right)}{\left[Y_3\left(\frac{l}{L}\right)\right]^2}};\quad \beta=\frac{Y_1\left(\frac{l-a}{L}\right)}{Y_3\left(\frac{l}{L}\right)}-\frac{Y_2\left(\frac{l}{L}\right)}{Y_3\left(\frac{l}{L}\right)}\gamma. \tag{12}$$

Оскільки нас цікавить деформація робочої поверхні клина в зоні удару п’ятки голки ($X=a$), рівняння (6) з урахуванням (11) приймає вид:

$$Y_{x=a}=\delta=\frac{F}{\alpha L}\left[\gamma Y_1\left(\frac{a}{L}\right)+\beta Y_2\left(\frac{a}{L}\right)\right]. \tag{13}$$

Підставляючи (13) у рівняння (2), знаходимо:

$$C_2 = \frac{\alpha L}{\gamma Y_1\left(\frac{a}{L}\right) + \beta Y_2\left(\frac{a}{L}\right)}. \quad (14)$$

Оцінимо ефективність використання клинів з пружною основою для зниження динамічних навантажень в механізмі в'язання круглов'язальних машин типу КО.

Враховуючи конструктивні особливості круглов'язальної машини КО-2 [5], маємо: a = 3,5 мм; b = 3 мм; Δ_1 = 0,5 мм; Δ_2 = 2 мм; l = 5 мм.

Прийнявши в якості пружної основи клина маслостійку гуму та враховуючи, що робоча грань являє собою сталеву пластину, маємо [3]: $E = 2{,}2 \cdot 10^5$ Н/мм^2; $\alpha = 24$ Н/мм^2.

Оскільки перетин робочої поверхні клина прямокутний:

$J = b\Delta_1^3 / 12 = 0{,}031125$ мм^4.

Підставляючи вихідні дані і отриманий результат в (5), знаходимо: $L = 5{,}8123$ мм.

Використовуючи (4) та враховуючи, що $\frac{a}{L} = \frac{3{,}5}{5{,}8123} = 0{,}60217$, знаходимо:

$$Y_1\left(\frac{l-a}{L}\right) = 0{,}9993;\ Y_2\left(\frac{l-a}{L}\right) = 0{,}25806;\ Y_2\left(\frac{l}{L}\right) = 0{,}84455;$$

$$Y_3\left(\frac{l}{L}\right) = 0{,}36776;\ Y_4\left(\frac{l}{L}\right) = 0{,}10582;\ Y_1\left(\frac{a}{L}\right) = 0{,}9781;\ Y_2\left(\frac{a}{L}\right) = 0{,}59953.$$

Підставляючи отримані результати в (12), маємо: $\gamma = 0{,}10044$; $\beta = 2{,}78774$.

Тоді, використовуючи (14):

$$C_2 = 78{,}83 \cdot 10^3 \text{ Н/м}.$$

Враховуючи, що для круглов'язальної машини типу КО з голками поз. 0-388 $C_1 = 1379{,}3 \cdot 10^3$ Н/м [1], жорсткість пари голка-клин із пружною основою згідно (1) буде дорівнювати: $C = 74{,}57 \cdot 10^3$ Н/м.

При цьому коефіцієнт n ефективності використання клинів із пружною основою (коефіцієнт зниження динамічного навантаження, зумовленого ударом голки об клин) становить [1, 2]:

$$n = \sqrt{\frac{C_1}{C}} = \sqrt{\frac{1379{,}3}{74{,}57}} = 4{,}3.$$

Висновки. Виконані дослідження дозволили:

- удосконалити теорію проектування робочих органів в'язальних машин з елементами, встановленими на пружній основі;
- розробити інженерний метод розрахунку клинів з робочими елементами з пружною основою;
- встановити, що використання у в'язальних системах круглов'язальних машин типу КО клинів з робочими елементами з пружною основою дозволяє знизити динамічні навантаження пари голка-клин в 4,3 разу.

Література

1. Піпа Б.Ф. Удосконалення робочих органів механізмів в'язання круглов'язальних машин / С.А. Плешко. – К. : КНУТД, 2012. – 470 с.
2. Піпа Б.Ф. Приводи в'язальних машин і автоматів з пристроями зниження динамічних навантажень (наукові основи та інженерні методи проектування) / О.В. Чабан, С.В. Музичишин. – К. : КНУТД, 2015. – 280 с.
3. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – К. : Наукова думка, 1975. – 704 с.
4. Прочность, устойчивость, колебания : справочник : т. 1 / под ред. Биргера Н.А. и Пановко Я.Г. – М. : Машиностроение, 1968. – 831 с.
5. Машины кругловязальные типа КО-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Черновцы. 1992. – 86 с.

References

1. Pipa B.F. Udoskonalennia robochykh orhaniv mekhanizmiv viazannia kruhloviazalnykh mashyn / S.A. Pleshko. – K. : KNUTD, 2012. – 470 s.
2. Pipa B.F. Pryvody viazalnykh mashyn i avtomativ z prystroiamy znyzhennia dynamichnykh navantazhen (naukovi osnovy ta inzhenerni metody proektuvannia) / O.V. Chaban, S.V. Muzychyshyn. – K. : KNUTD, 2015. – 280 s.
3. Pysarenko H.S. Spravochnyk po soprotyvlenyiu materyalov / A.P. Yakovlev, V.V. Matveev. – K. : Naukova dumka, 1975. – 704 s.
4. Prochnost, ustoichyvost, kolebanyia : spravochnyk : t. 1 / pod red. Byrhera N.A. y Panovko Ya.H. – M. : Mashynostroenye, 1968. – 831 s.
5. Mashyny kruhloviazalnye typa KO-2. Tekhnycheskoe opysanye y ynstruktsyia po ekspluatatsyy. – Chernovtsy. 1992. – 86 s.

Рецензія/Peer review : 19.12.2017 р. Надрукована/Printed :24.03.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Місяць В.П.

УДК 621.01: 620.193.16

А.Л. ГАНЗЮК, В.П. ОЛЕКСАНДРЕНКО
Хмельницький національний університет

РОЗВИТОК ОСНОВ ЕВОЛЮЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ФРЕТИГ-КОРОЗІЇ З ПОЗИЦІЙ ФІЗИЧНОЇ ХІМІЇ ТА ХІМІЇ ТВЕРДОГО ТІЛА ІЗ УРАХУВАННЯМ ФАКТОРІВ ЗОВНІШНЬОГО ВПЛИВУ

Проведено аналіз впливу різних зовнішніх факторів на експлуатацію автомобільної техніки з точки зору надійності вузлів кріплення та фретинг-процесів. Розглянуто основні етапи трибохімічних процесів деформаційної моделі, механізм фретинг-процесів та запропоновано спосіб кількісного опису перебігу трибохімічних реакцій на поверхнях контактуючих тіл з урахуванням хімічної активності газів та радикальних частинок водного середовища. У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано динамічну модель фретинг-процесу з урахуванням впливу зовнішнього рідинного середовища.

Ключові слова: фретинг-корозія, деформаційна модель, динамічна модель, зовнішнє середовище.

A.L. HANZYUK, V.P. OLEKSANDRENKO
Khmelnytsky National University

DEVELOPMENT OF THE FUNDAMENTALS OF THE EVOLUTIONAL MODEL OF FRAGMENTAL CORROSION FROM POSITIONS OF PHYSICAL CHEMISTRY AND CHEMISTRY OF THE SOLID BODY WITH REGARD TO FACTORS OF EXTERNAL INFLUENCE

The analysis of the influence of various external factors on the operation of automotive equipment from the point of view of the reliability of mounting nodes and fretting processes that occur in these nodes is carried out. The regularities of the process of fretting processes with the further development of the evolutionary model in nominally immobile compounds from the standpoint of physical-chemistry and solid-state chemistry, taking into account the influence of the external fluid medium, are substantiated. In addition to the reactions between the solid surface and the gaseous phase, solid phase transformations play a significant role in the formation of the final reaction products. Any chemical process involves the presence of contact between the reacting particles. Such contacts arise in liquid or gaseous phases. In solid phases, the direct contact of the reacting particles is possible only at an initial time, after which, as a result of fretting-corrosion, a layer of oxide separates the reagents occurs, and subsequent reaction proceeds through the mass transfer of atoms through the layer of the formed product. The junctions of units of automobile engineering are under the influence of significant changeable loads, which eventually leads to the emergence of microscopes into which the environment is impregnated - water with various impurities. As a result of cyclic loading in the liquid, which is in the micro-gap, there are cavitation processes. As a result of the experimental tests, the change of water parameters, namely: hydrogen index and oxidative reduction potential of water from the duration of treatment by cavitation, and their change in time after treatment with cavitation, were investigated. The main stages of the tribochemical processes of the deformation model, the mechanism of fringing processes are considered, and the method of quantitative description of the course of tribochemical reactions on the surfaces of contacting bodies is proposed, taking into account the chemical activity of gases and radical particles of the aqueous medium. As a result of theoretical and experimental researches, a dynamic model of the fretting process was proposed, taking into account the influence of the external fluid medium, and a promising direction in the fight against fretting-damages in nominally-fixed joints of machine parts, namely the use of soft coatings based on lead, tin , cadmium, which have a low yield strength and are able to change the coefficient of friction on the contact surfaces, and also can absorb a certain part of the energy of vibration.

Keywords: framing corrosion, deformation model, dynamic model, external environment.

Постановка проблеми. Довговічність машин та механізмів, як сукупності пов’язаних між собою деталей, визначається різноманітними видами з’єднань, втому числі попередньо напруженими, працездатність яких обумовлена наявністю тертя в контакті та розвитком фретинг-корозії. Вказані з’єднання відносяться до номінально-нерухомих фрикційних з’єднань.

Взаємодія контактуючих поверхонь з часом змінює свій характер внаслідок впливу силових параметрів, стану кристалічної гратки, агресивного середовища, що в кінцевому результаті призводить до руйнування контакту та втрати його цілісності. В більшості випадків при дослідженні фретинг-корозії пошкоджених матеріалів не приділялось належної уваги вивченню кристалічної структури. В той же час внаслідок фретинг-корозії відбувається розхитування міжкристалічних зв’язків та розрихлення кристалічної гратки внаслідок зворотно-поступальних переміщень контактуючих поверхонь.

Кристалічна текстура металу залежить від швидкості кристалізації, забруднень, які виникають при кристалізації, механічної, термічної обробки. При деяких умовах невеликі забруднення чи незначні домішки суттєво змінюють властивості твердого тіла. Невеликі домішки можуть суттєво покращити не лише фізичні, але і хімічні властивості. Досить часто хімічна стійкість міжкристалічних шарів нижча, ніж самих кристалів, які складають основну частину речовини. Це призводить до того, що корозія чи інший хімічний процес, що прискорює руйнування твердого тіла йде по границях зерен.

Вагомим підтвердженням розвитку в поверхневих шарах металів при фретинг-корозії процесів від утоми служить зміна мікротвердості по мірі просування вглибину від поверхні.

Таким чином, розглянувши вище викладене, можна зробити висновок, що дослідження фретинг-процесів пов’язаних з хіміко-механічним зношуванням в контексті структурних змін в матеріалах контактуючих поверхонь є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень. Методикам теоретичних підходів забезпечення працездатності вузлів тертя протягом терміну експлуатації машин із врахуванням мікрорівневих перетворень приділялась увага в чисельних працях вітчизняних та зарубіжних науковців в галузі фретинг-зношування: Уотерхауз Р.,

Томлінсон Г., Хоупнер Д., Шевеля В.В., Похмурський В.І.; в галузі механіки вібраційного тертя, малоамплітудного фретингу: Хілл Д., Джонсон К., Костогриз С.Г., Шалапко Ю.І.; в теорії контактної взаємодії: Грінвуд Д., Андрейків О.Е., Кузьменко А.Г., Семенюк М.Ф.

В.В. Ковалевським [1] розвинуті уявлення про малоамплітудний фретинг. Важливу роль надано такому фактору, як вплив адгезії на стадійність фретингу та виявлення концентраторів напруг, які впливають на об'ємне руйнування при фретинг-втомі. Руйнування оксидних плівок відбувається швидше в порівнянні з їх відновленням, а адгезія тим вища, чим більша дійсна площа контакту, яка визначається пластичною деформацією контактуючих поверхонь під дією нормального тиску.

При фретинг-втомі з навантаженням зміна адгезії відбувається немонотонно. Перший пік спостерігається при довговічності від декількох сотень циклів, після чого адгезія починає падати. В цей період спостерігається витіснення частинок металу, що в свою чергу викликає контакт "чистих" поверхонь. Повторне зростання адгезії спостерігається при довговічності 70000…200000 циклів мікропереміщень. Далі адгезія падає та досягає мінімуму, що пов'язано з підвищенням хімічної активності гранично зміцненої поверхні [1].

Поряд із розвитком адгезійної теорії необхідно відмітити важливу роль енергетичних уявлень в модулюванні природи трибологічних процесів. Дослідження структурно-енергетичних особливостей мають місце в роботах Алябьева А.Я., Голего Н.Л., Іванової В.С., Костецького Б.І, Шевелі В.В.

В роботі В.В. Шевелі [2] розглядаються термодинамічні системи, в яких мають місце дві підсистеми. В одній з них протікають лише деформаційні процеси, а в іншій мають місце трибохімічні реакції. При цьому незворотнє пошкодження металу пов'язане з накопиченням та взаємодією дефектів структури, хімічною чи електрохімічною взаємодією металу та середовища, утворенням нових поверхонь при розрядці дислокацій. Термодинамічна система є гомогенною та ізотропною, процеси втоми протікають в ізобарно-ізотермічних умовах. Металографічний та дифрактографічний аналіз дозволили виділити три найбільш типові концентратора напруження, які викликають об'ємне руйнування при фретинг-втомі. По-перше, це малоамплітудне руйнування локальних об'ємів поверхневих шарів; по-друге, геометричний концентратор, який виникає внаслідок абразивної дії продуктів зношування; по-третє, концентратор корозійної втоми. Виникнення кожного з трьох типів пошкоджень поверхні характерне для певного числа циклів мікропереміщень при терті тіл.

Виділення невирішеної раніше частини загальної проблеми. Обґрунтування закономірностей перебігу фретинг-процесів з подальшим розвитком еволюційної моделі у номінально-нерухомих з'єднаннях з позицій фізичної-хімії та хімії твердого тіла з урахуванням впливу зовнішнього рідинного середовища є актуальним завданням.

Виклад основного матеріалу. Експлуатація автомобільної техніки з точки зору надійності вузлів кріплення та фретинг-процесів відрізняється головними чинниками: нестаціонарністю динамічних навантажень та впливом агресивного середовища. Саме нестаціонарність навантаження призводить до раптового руйнування вузлів нерухомого спряження, а прихованість пошкоджень від довготривалої дії фретингу не дає можливості передбачати аварійну ситуацію.

Рис. 1. Загальний вигляд пошкодження елементів передньої підвіски автобуса "Ікарус"

Рис. 2. Детальний вигляд пошкодження різьбової частини наконечника лівої штанги передньої підвіски автобуса "Ікарус"

У процесі встановлення причини аварійної ситуації з автобусом «Ікарус» д.н. 002-57МС виявлено несправність його ходової частини, яка полягала в порушенні різьбового з'єднання лівої штанги передньої підвіски з переднім наконечником автобуса «Ікарус» та зриву даної штанги з наконечника (див. рис. 1 та рис. 2), і відповідно до висновку спеціаліста, має експлуатаційний характер, виникла під час руху автобуса до дорожньо-транспортної пригоди під дією циклічних динамічних експлуатаційних навантажень, що викликало порушення співвісності переднього та заднього мостів автобуса із зміщенням лівої частини передньої осі до задньої частини автобуса і могло стати причиною виникнення крутного моменту, направленого в сторону зміщення осі (ліворуч) по ходу руху автобуса та втрати по цій причині керованості транспортного засобу [3].

Динамічні переміщення у номінально-нерухомих з'єднаннях автомобільної техніки характеризується широким спектром силового та вібраційного навантаження [3], при збільшенні кількості циклів навантаження об'єми, які знаходились в розукріпленому стані, укріплюються, а об'єми, які були

раніше укріплені розукріплюються. При цьому відбувається ніби рух хвиль "укріплення – розукріплення" в глибину шарів.

Цей процес можна пояснити наступним чином. Спочатку знакозмінне контактне навантаження пластично деформує приповерхневі шари (малоциклічна втома), викликаючи їх укріплення до стану, який споріднений активному статичному укріпленню. Послідуючі реверсивні навантаження пов'язані з пружним передеформуванням поверхневих шарів. Перехід в режим пружного циклічного деформування викликаний, з однієї сторони, зміцненням металу, а з іншої, пониженням ефективної амплітуди знакозмінного перемінного навантаження внаслідок полегшення умов тертя при появі продуктів зношування. Далі процеси розвиваються за звичайними законами для втоми [3] попередньо розукріплені шари спочатку розвпорядковуються до певного рівня, а після цього (в умовах передеформування) відбувається їх нове укріплення з послідуючим розукріпленням. Процеси від утоми супроводжуються інтенсивним утворенням вакансій, коалесценція яких приводить до виникнення пор та мікротріщин [4].

Розглянемо основні етапи трибохімічних процесів деформаційної моделі механізму фретинг-процесів яка пропонується.

Енергетична концепція базується на умові Гріффітса, згідно якої існуюча мікротріщина буде інтенсивно поширюватися, якщо швидкість звільнення енергії пружної деформації буде більшою приросту поверхневої енергії тріщини в одиницю часу.

Критична напруга, при якій починається інтенсивний розвиток тріщин з подальшим руйнуванням поверхні [4]:

$$[\sigma] \geq \sqrt{\frac{E(W_1 + W_2)}{\pi \cdot l}}, \tag{1}$$

де $[\sigma]$ – критичні напруження у зразку;

E – модуль пружності;

W_1 – енергія поверхневого натягу тріщини;

W_2 – робота пластичної деформації;

l – довжина мікротріщини.

Мінімальне нормальне напруження, при якому виникає граничне проковзування зерен та утворення субмікротріщин визначається за формулою:

$$\sigma_{\min} = \sqrt{\frac{12 \cdot W \cdot G}{\pi \cdot d}}, \tag{2}$$

де W – поверхнева енергія пластичної деформації, зв'язана з виникненням тріщини в сусідньому зерні;

d – середній діаметр зерна;

G – модуль пружності другого роду.

Структурно-міцнісні властивості матеріалу тісно пов'язані з енергоємкістю. Процес зношування при цьому підпорядковується закону збереження енергії. У відповідності з першим законом термодинаміки його можна представити співвідношенням:

$$A = Q + \Delta E, \tag{3}$$

де ΔE – зміна внутрішньої енергії речовини;

Q – тепловий ефект;

A – робота тертя, еквівалентна затраченій механічній енергії.

Зміна внутрішньої енергії зношеного матеріалу дорівнює величині енергії нових поверхонь, які утворюються при руйнуванні. В процесі зношування акумульована енергія пружної деформації призводить до руйнування кристалічної гратки. При цьому відбувається розрив міжатомних зв'язків та утворення нових поверхонь.

В поверхневих шарах перебігають незворотні процеси зміни початкового стану поверхні, які включають приріст густини дислокацій, структурні деформації, зміни параметрів кристалічної гратки, утворення дисперсних фаз. Робота, витрачена на виконання вказаних змін, приводить до збільшення запасу внутрішньої енергії поверхневих шарів металу. Енергія деформації являє собою енергію, що міститься в дислокаціях $E_р$, точкових дефектах $E_{тд}$, залишкових напружень $E_{зн}$, а також енергію структурних перетворень $E_{сп}$ та виділення нових фаз $E_{нф}$:

$$E_д = E_р + E_{тд} + E_{зн} + E_{сп} + E_{нф}. \tag{4}$$

Із збільшенням ступеню деформації кількість енергії, яка акумулюється в металі, збільшується та може коливатися в широких межах від декількох до сотень джоулів на 1 моль гратки [4].

Руйнування твердого тіла відбувається внаслідок того, що кристалічна гратка перестає при подальшому навантаженні поглинати підведену зовні енергію. Тобто даний об'єм металу насичений енергією граничної величини, яка визначається силами зв'язку кристалічної гратки.

Тертя призводить до деформаційних процесів в металі, а також до утворення мікротріщин,

подальший розвиток яких викликає руйнування поверхневих мікрооб'ємів.

Енергія дислокацій залежить від характеру розміщення дислокацій та відстані між ними. Якщо енергія деформації в локальному об'ємі досягає граничної величини для даного металу, то саме в цьому об'ємі виникає тріщина. Величина енергії, яка витрачається на збільшення густини дислокацій в даному об'ємі, може бути визначена за різницею густини дислокацій до та після тертя [4]:

$$E_p = \Delta p \cdot E_P^{/} \cdot V_p, \tag{5}$$

де Δp – приріст густини дислокацій в робочому об'ємі металу після тертя;

$E_p^{/}$ – енергія одиничної дислокації; V_p – об'єм поверхневого шару, в якому відбувається збільшення густини дислокацій;

$$\Delta p = \int_0^{l\Delta p} f(l_p)dl_p;$$

де $f(l_p)$ – характер розподілу додаткової густини дислокацій; l_p – глубина робочого шару.

Наявність дислокацій в кристалі веде до появи деформацій, напружень, а також до збільшення запасу пружної енергії. Пружна енергія одиничної дислокації на одиницю довжини визначається згідно співвідношення [4]:

$$E_p^{/} = \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0} - l_я\right) G \cdot b^2}{4\pi(1-\mu)}, \tag{6}$$

де G – модуль зсуву;

b – вектор Бюргерса;

μ – коефіцієнт Пуасона;

r_0, r_1 – зовнішній та внутрішній радіуси силового поля одиничної дислокації;

$l_я$ – енергія ядра дислокації.

З урахуванням (6) в результаті отримаємо залежність:

$$E_p = \frac{G \cdot b^2}{4\pi(1-\mu)} \ln\left(\frac{r_1}{r_0} - l_я\right) \cdot V_p \cdot \int_0^{l_p} f(l_p)dl_p. \tag{7}$$

У відкритих системах вихід ентропії за систему врівноважує її зростання у самій системі. При таких умовах може виникнути та підтримуватися стаціонарний стан, чому сприяють окисно-корозійні процеси при фретингу. При певних умовах сумарне зменшення ентропії за рахунок обміну з зовнішнім середовищем може перевищити її внутрішнє утворення. Виникає нестійкість та невпорядкованість системи, що веде до виникнення максимальної кількості флуктуацій.

Отже еволюція системи тертя проходить в напрямку самоорганізації та визначається трибохімічними параметрами процесу. Виникнення вторинних структур при фретинг-процесах відповідає принципу збереження енергії зі зменшенням коефіцієнта тертя, що супроводжується інгібіторуванням процесів пошкоджуваності поверхневих шарів. Формування дислокаційної, невпорядкованої структури на ранній стадії фретингу свідчить про високу ступінь нерівноважності системи тертя, при цьому в точках біфуркації при мікро- та малоамплітудному фретингу виникають резонансні явища.

Побудова деформаційної моделі трибохімічних процесів починається з квазіадіабатичного накопичення енергії на твердій поверхні тіла внаслідок дії механічних факторів. Внаслідок чого за достатньо короткий час і в невеликому просторі накопичується достатньо значна енергія. Причиною накопичення енергії є обмежена швидкість розповсюдження електронних збуджень в реальній системі, яка не є неперервною. В деяких точках виникають збуджені стани, які наближаються за енергетичними параметрами до трибоплазми. Саме вони характеризуються найбільш сильно порушеною кристалічною структурою та наявністю нестаціонарних високозбуджених фрагментів кристалу у вигляді компонентів кристалічної гратки (іонів, електронів). Дана фаза характеризується накопиченням енергії з утворенням великої кількості вільних електронів, внаслідок чого реакційна здатність трибосистеми в окремих точках надзвичайно висока. Збуджені стани, близькі до трибоплазми, виникають на досить короткі проміжки часу, тому в такій ситуації розподіл Максвела-Больцмана за енергетичними станами не може встановитися. Найвищий енергетичний стан динамічно, за досить короткий час життя метастабільних станів, накопичує велику кількість енергії, що викликає розупорядкування структури. Значна емісія електронів змінює синергетику процесу, що супроводжується утворенням ювенільних поверхонь, рухом дислокацій, утворенням дефектів кристалічної гратки, розтріскуванням. Саме на даній стадії можливий перебіг трибо-хімічних реакцій.

Загальний хід трибохімічної реакції зображений на рис. 3.

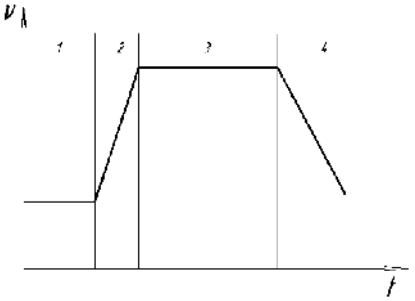


Рис. 3. Загальний хід трібохімічної реакції

Перша фаза характеризує взаємодію на поверхні необробленого матеріалу. Перша фаза без збудження, тому будь який перебіг хімічних реакцій з поверхнею матеріалу має значний часовий фактор. Друга фаза характеризується утворенням нестійкої, високореакційної поверхні внаслідок чого зростає швидкість трибохімічних реакцій. Третя фаза пов'язана з структурними змінами та синергетикою поверхневого шару матеріалу. Зміна реологічних показників в четвертій фазі веде до спаду її активності та стрімкого зменшення швидкості всіх реакцій.

Запропоновано наступний спосіб кількісного опису перебігу трибохімічних реакцій на поверхнях контактуючих тіл трибосистеми. Закономірно, що всі трибохімічні реакції відбуваються по активних, збуджених центрах:

$$A \underset{W'}{\overset{W}{\leftrightarrow}} A', \tag{8}$$

де A – неактивні центри;

A' – активні центри;

W – поверхнева енергія;

W' – додатково ініційована поверхнева енергія від фретинг-процесу.

Далі для визначення швидкості зміни числа активних центрів маємо:

$$\frac{dN_A^*}{dt} = WN_0 - (W + W')N_A^* = W - (W + W')\frac{N_A^*}{N_0}, \tag{9}$$

де N_A^* – кількість активних центрів;

N_A – кількість неактивних центрів;

N_0 – загальна кількість центрів;

t – час зміни числа активних центрів.

Якщо активність поверхні Φ визначити, як $\frac{N_A^*}{N_0}$, то отримаємо залежність:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + (W + W')\Phi = W, \tag{10}$$

Врахувавши, що часовий зв'язок зміни поверхневої енергії W та активної поверхневої енергії W' пропорційний потенціальним бар'єрам для утворення та розпаду активних центрів отримаємо:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t^*} + Z_1(t^*)\Phi = Z_2(t^*), \tag{11}$$

де Z_1 – потенціальний бар'єр утворення активних центрів;

Z_2 – потенціальний бар'єр розпаду активних центрів;

t^* – час спаду енергії.

Якщо рахувати, що високоактивні центри, які утворюються при терті стійкі на протязі долі секунди, то хімічні реакції можуть відбуватися лише в тому випадку, коли гази з оточуючого середовища встигають вступити в реакцію за досить короткий проміжок часу.

В такому випадку можна запропонувати наступну трибокінетичну модель на прикладі взаємодії радикалів CR (аналогічно і для радикалів інших газів) з поверхнею твердого тіла: радикали газу досягають поверхні метала шляхом дифузії та адсорбується на ній. Трибоадсорбція проходить по точках, які піддаються механічній дії. В залежності від умов проходить трибоабсорбція на активних центрах з газової фази разом із трибохімічними реакціями, або адсорбція з хімічними реакціями газу на поверхні твердого

тіла (рис. 4).

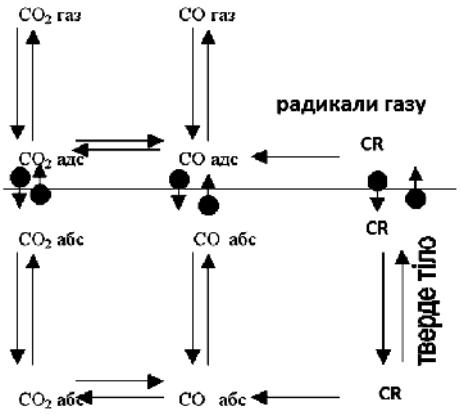


Рис. 4. Трибокінетична модель взаємодії газу з поверхнею твердого тіла

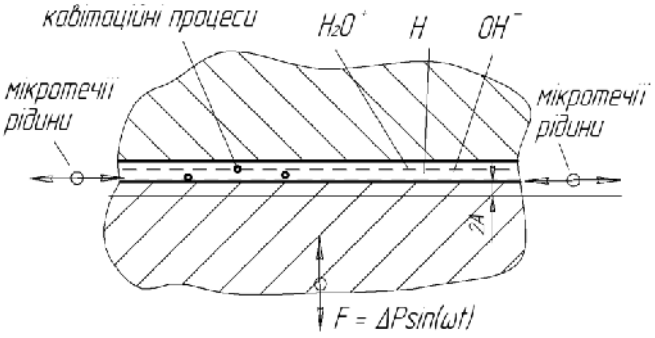


Рис. 5. Модель впливу вібраційних коливань на водне середовище

При взаємодії твердого тіла з робочим середовищем основну роль відіграють ті його властивості, які створюють умови вступу в реакцію поверхні метала та агресивних компонентів середовища.

Крім реакцій між поверхнею твердого тіла та газоподібною фазою, значну роль в утворенні кінцевих продуктів реакції відіграють твердофазні перетворення. Відомо, що будь який хімічний процес передбачає наявність контакту між реагуючими частинками. Такі контакти виникають в рідкій чи газоподібній фазах. У твердих фазах прямий контакт реагуючих частинок можливий лише в початковий момент часу, після цього внаслідок фретинг-корозії виникає шар окислу, який розділяє реагенти, і подальше протікання реакцій проходить шляхом масопереносу атомів через шар утвореного продукту.

Оточуюче середовище, а саме гази з різними домішками, є одним з факторів, який визначає хід фізико-хімічних процесів в зоні тертя. Так на поверхнях металів в атмосферних умовах присутні окисні та адсорбовані газові плівки, які попереджують безпосередній контакт ювенільних металевих поверхонь. В процесі тертя ці плівки зношуються та руйнуються. Активна взаємодія газового середовища з матеріалом в зоні тертя приводить до їх регенерації, тому закономірності тертя в повітрі в значній мірі визначаються властивостями поверхневих плівок.

Спряження вузлів автомобільної техніки знаходяться під дією значних знакозмінних навантажень, що призводить з часом до виникнення мікрозазорів у які просочується оточуюче середовище – вода із різними домішками. У результаті циклічних навантажень у рідині, яка знаходиться у мікрозазорах, виникають кавітаційні процеси (див. рис. 5).

Авторами [5–8] проведено ряд експериментальних досліджень із зміни властивостей та енергетичного стану води, яка піддавалася впливу вібраційних коливань із виникненням кавітаційних процесів. В результаті досліджень встановлено, що зменшується коефіцієнт поверхневого натягу рідини, збільшується водневий показник pH від 6,7 до значення 9 одиниць.

Активні частинки, що виникають у системі, після переходу в розчин сольватуються і реагують з розчиненими речовинами. На стадії, коли діють вібраційні коливання, на хід процесу можуть впливати практично тільки хімічно активні гази – O_2 і H_2, але вібраційні коливання створюють гемолітичний розрив ковалентних зв'язків у молекулі води та утворення радикальних частинок H^+, OH^-, які мають підвищену окислювальну здатність (див. рис. 5) [6].

Іон H^+ має високу рухливість і може швидко виходити шляхом дифузії з потоку, при цьому значна частина їх залишається у потоці, OH^- накопичується, що приводить до зростання водневого показника pH. У кінцевому підсумку, вплив кавітації на водні розчини зводиться до єдиного процесу – розщепленню молекул води в кавітаційних пухирцях.

Експериментальні результати [6] показали, що при вібраційному впливі на водні розчини спостерігається різка зміна фізико-хімічних і хімічних властивостей води. Наприклад, при ударному стисненні (позначено —)))) до $1{,}27\cdot10^4$ МПа концентрація кожного з одночасно існуючих іонів H^+, OH^-, досягає 5 моль-екв/л, тобто змінюється на сім порядків.

Збільшення електролітичної дисоціації води було використано для проведення у водних розчинах за вельми короткий проміжок часу ~ 1мкс при тисках $(2{,}7\ldots4{,}0)\cdot10^3$ МПа деяких окисно-відновних реакцій за участю іонів хромату, нітрату, перхлорату, сульфіту і т. п. Результати досліджень Тальрозе і Лейдлера [5] показали, що нижчий потенціал, при якому утворяться (у невеликій кількості) іони H^-, дорівнює 5,6 ± 0,5 В. Утворення основного іона H_2O^+ проходить при 13,0 ± 0,2 В. Кількість іонів H_2^+, O та інших настільки мала, що їхньою присутністю можна знехтувати.

Імовірність здійснення реакції

$$H_2O \text{ —))) } H_2O^+ + e^-, \qquad (12)$$

велика, тому що відносна кількість іонів H_2O^+ перевищує суму усіх інших первинних продуктів

розщеплення води. Радикал О H^- утворюється головним чином за реакцією:

$$H_2O \text{ —))) } OH^- + H^+ + e^-, \quad (13)$$

тому що, судячи з інтенсивності смуги H^-, з досліджень у мас-спектрі, кількість іонів H^-мала.

В ході проведених експериментальних випробувань за методикою [8] досліджувалася зміна параметрів води, а саме: водневого показника pH та окисного відновного потенціалу води (показник *ORP*) від тривалості оброблення кавітацією та їх зміна у часі після обробки кавітацією (рис. 6).

Зростання водневого показника pH (рис. 6), за період оброблення кавітацією, спричинене розриванням водневих зв'язків у молекулах, але з часом цей показник стабілізується на рівні 8,2 pH.

Зниження показника ORP (рис. 6) від 300 до 180 мВ свідчить про підвищення окиснювально-відновлювального потенціалу рідини, спричиненого появою у рідині іонів OH^-, H^+.

Структура кристалів осаду краплі води, обробленої протягом 10 хвилин вібраційними коливаннями представлена на рис. 7,*б*. Як видно, на різних ділянках осаду спостерігається рівномірний розподіл і врівноважена форма кристалів в порівнянні з структурою кристалів осаду краплі води яка не піддавалась вібраційному впливу рис. 7,*а*. Такий вигляд кристалів осаду пояснюється отриманим низьким коефіцієнтом поверхневого натягу та розривом водневих зв'язків.

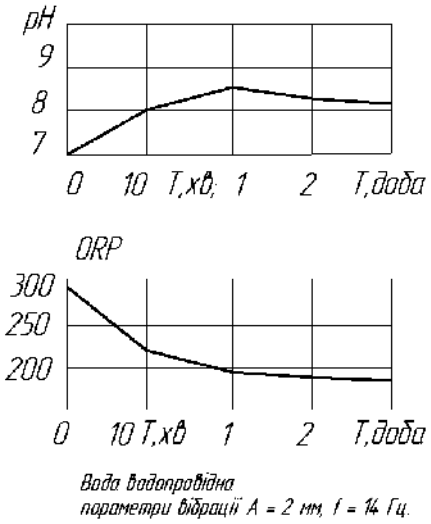


Рис. 6. Зміна показників води: pH, ORP з часом, оброблення кавітацією та їх зміна у часі після обробки кавітацією

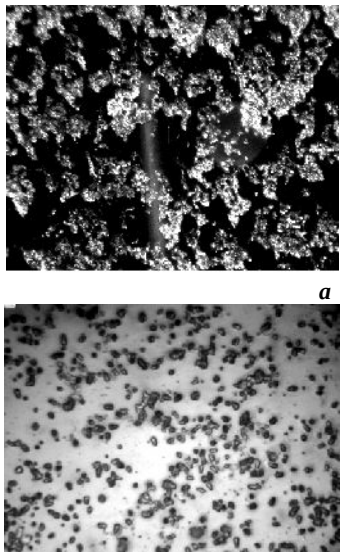


Рис. 7. Структура кристалів осаду краплі води: *а* – без обробки за 250-кратного збільшення; *б* – обробленою кавітацією за 660-кратного збільшення

Для вивчення впливу на фретинг-процес водного середовища проведена серія досліджень структурних змін металевих поверхонь зразків з сталі 30ХГСА на установці для моделювання фретинг-процесів [9].

Якщо порівняти ураження поверхонь зразків сталі 30ХГСА внаслідок фретингу на повітрі та в присутності водного середовища то легко помітити, що в першому випадку (рис.8) відсутній оксидний шар та руйнування поверхні металу, визначене ваговим методом, значно менше. Запобігання процесам окислення виключає процес утворення оксидного шару та подальше його руйнування. У другому випадку окиснювальний вплив середовища значний завдяки появі іонів H^+ і OH^- та вимиванню частинок оксидного шару з подальшим окисненням поверхні металу (рис. 9).

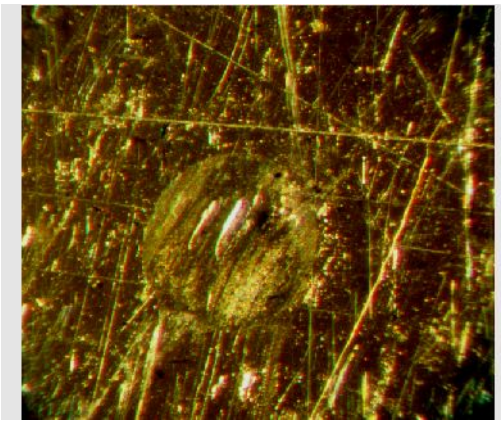


Рис. 8. Світлина поверхні зразка при фретингу на повітрі

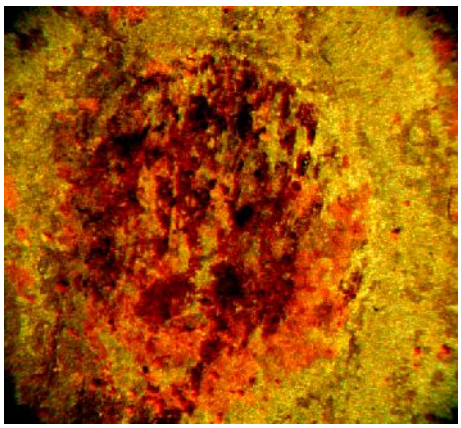


Рис. 9. Світлина поверхні зразка при фретингу у водно-спиртовому середовищі

Трибо-хімічні реакції, викликані дією фретингу в малоамплітудній області відносних мікропереміщень, ініціюють виривання електронів з металу, тобто їх емісією, яку можна розділити на два класи: емісію частинок та емісію енергії.

Схема трибосистеми із факторами зовнішнього впливу наведена на рис.10. Ініціювання трибохімічних реакцій викликається тим, що в процесі тертя внаслідок пластичної деформації тонких шарів металу відбувається зростання ентропії системи, проходить значний розігрів поверхні та утворення ювенільних поверхонь разом із збільшенням каталітичної активності. Все це призводить до інтенсифікації протікання трибохімічних реакцій.

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано модель фретинг-процесу з урахуванням зовнішнього рідинного середовища яка представлена на рис. 11 та системою диференційних рівнянь:

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{x} = c(x-y)+F \\ M \cdot \ddot{y} = c(x-y)+k\dot{y} \end{cases}, \quad (14)$$

де m – маса еластичного елементу, як опис тангенціальної жорсткості зовнішнього шару і третього тіла $(M \geq\geq m)$;

c – пружність еластичного елементу;

F – сила тертя;

M – маса третього тіла;

$k = \frac{1}{E}$ – коефіцієнт демпфірування рідинного середовища; E – модуль пружності рідини на розтяг;

x, y – переміщення тіл;

$\dot{y}$ – швидкість переміщення тіла;

$\ddot{x}, \ddot{y}$ – прискорення переміщень тіл.

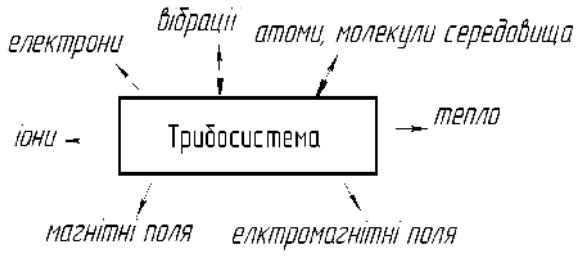


Рис. 10. Схема трибоемісії

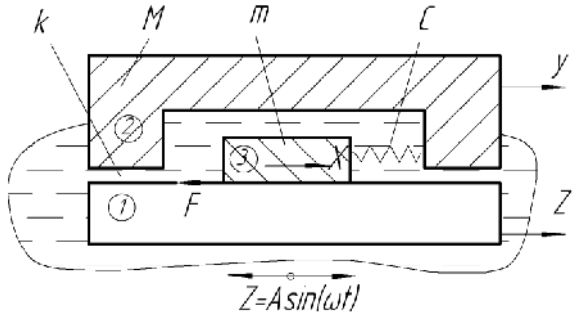


Рис. 11. Динамічна двомірна модель з трьох тіл занурених у рідину: 1 – тіло, що робить коливальний рух по специфічному закону; 2 – еластичний елемент з масою як опис тангенціальної жорсткості зовнішнього шару; 3 – тіло як рух усього елементу

Перспективним у боротьбі із фретинг-пошкодженнями у номінально-нерухомих з'єднаннях деталей машин є застосування м'яких покриттів на основі свинцю, олова, кадмію, які мають низький опір текучості і здатні змінювати коефіцієнт тертя на контактуючих поверхнях, а також можуть поглинати певну частину енергії вібрації. Внаслідок фретингу протікають процеси термічного розкладу, які ініціюють процес окислення на поверхні твердого тіла. Звичайно при введені в зону взаємодії легкоплавкого сплаву крім взаємодії між твердою і газоподібною фазами проходять твердофазні реакції. Специфіка твердофазних реакцій полягає в тому, що прямий контакт реагуючих частинок можливий лише в початковий момент часу, після чого утворюється шар продукту, який розділяє реагенти і подальша взаємодія лімітується масопереносом атомів чи іонів через шар утвореного продукту.

Висновки і перспективи розвитку напрямку. Аналіз впливу різних зовнішніх факторів при експлуатації автомобільної техніки з точки зору надійності вузлів кріплення та фретинг-процесів показав, що вони відрізняється головними чинниками: нестаціонарністю динамічних навантажень та впливом агресивного середовища.

Розглянуто основні етапи трибохімічних процесів динамічної моделі механізму фретинг-процесів та запропоновано спосіб кількісного опису трибосистеми і перебіг трибохімічних реакцій на поверхнях контактуючих тіл з урахуванням хімічно-активних газів та радикальних частинок водного середовища іонів H^+ і OH^-, які мають підвищену окиснювальну здібність.

У результаті теоретичного обґрунтування перебігу фретинг-окиснювальних процесів встановлено, що проходять фізико-хімічні перетворення, які в певній мірі пояснюють можливості виникнення

відповідних трибо-хімічних реакцій.

За результатами досліджень впливу динамічних коливань на структуру води встановлено, що вони призводить до зміни властивостей води та її структури.

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано динамічну модель фретинг-процесу з урахуванням зовнішнього рідинного середовища.

Отже, одним зі шляхів підвищення фретингостійкості вузлів автомобільної техніки пропонується застосування легкоплавких сплавів, які дозволяють отримати:

- ефект екранування поверхні твердого тіла від дії оточуючого середовища, перш за все дифузії кисню, водню і вуглекислого газу та радикальних частинок водного середовища;
- зменшення адгезії контактуючих поверхонь тіл;
- створення умов для виникнення рідинного тертя в окремих точках;
- пониження еквівалентних напруг в поверхневому шарі;
- утворення третього тіла з продуктів окиснення.

Література

1. Ковалевский В.В. Малоамплитудный фретинг-износ и фретинг-усталость металлов и сплавов : автореферат дис. на здобуття наукового ступеня д-ра техн. наук / В.В. Ковалевский. – Брянск : БИТМ, 1985. – С. 34–39.
2. Шевеля В. В. Фреттинг-усталость металлов / В.В. Шевеля, Г.С. Калда – Хмельницкий : Поділля, 1998. – 234 с.
3. Шалапко Ю.І. Прихованість фретинг-процесів у зєднаннях автомобільної техніки та їх вплив на безпеку експлуатації / Ю.І. Шалапко, А.Л. Ганзюк, М.А. Разуваєва // Вісн. Хмельниц. нац. ун-ту. техн. науки. – 2010. – № 5. – С. 165–169.
4. Иванова В.С. Природа усталости металлов / В.С. Иванова, В.Ф.Терентьев. – М. : Металлургия, 1975. – 456 с.
5. Маргулис М. А. Основы звукохимии (химические реакции в акустических полях) : учеб. пособие для хим. и хим.-технол. спец. вузов / М.А. Маргулис. – М. : Высш. шк., 1984. – 272 с.
6. Федоткин И.М. Кавитация. Кавитационные енергетические аппараты и установки / И.М. Федоткин, С.И. Гулый. – К. : Арктур-А, 1998. – 130 с.
7. Низькочастоні віброрезонансні кавітатори : монографія /Л.І. Шевчук, І.С. Афтаназів, О.І. Строган, В.Д. Старчевський. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 175 с.
8. Інноваційні нанотехнології активації і знезаражування води та вібраційне обладнання : монографія / [Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, Г.Б. Параска, В.Д. Пархоменко, В.В. Кравчук] . – Хмельницький : ХмЦНІІ, 2013. – 252 с.
9. Ганзюк А.Л. Зміна складу органічних та водноорганічних середовищ під впливом фретинг-процесів / А.Л. Ганзюк, В.П. Олександренко, В.П. Нездоровін // Materials of the XII International scientific and practical conference Areas of scientific thought. V. 8. Technical science. Construction and architecture. Geography and geology. – Sheffield. – 2016/2017. – С. 36–39.

References

1. Kovalevsky V.V. Low-amplitude fretting-wear and fret-fatigue of metals and alloys: dissertation diss. For obtaining the degree of Dr. Tech. Sciences - Bryansk, BITM, 1985. pp. 34-39.
2. Shevela V.V., Kalda G.S. Fretting-fatigue of metals - Khmelnytsky: Podillya, 1998. - 234 p.
3. Shalapko Yu.I., Hansiuk A.L., Razuvaeva M.A. Razuvaev Concealment of fretting processes in automobile vehicle combinations and their impact on safety of operation. Visn. Khmelnitsky nats un-th Techn. science – 2010, №5, 165-169 pp.
4. Ivanova VS, Terent'ev VF Nature of metal fatigue / V.S. Ivanova, VF Terentev - Moscow: Metallurgy, 1975, 456 p.
5. Margulis M. A. Fundamentals of Suction Chemistry (Chemical Reactions in Acoustic Fields): Study. Handbook for chem. And chemical technology. Special High schools - M.: Vyssh. Shk., 1984. - 272 p.
6. Fedotkin I.M., Holey S.I. Cavitation Cavitation energy devices and installations. K.: Arctur-A, 1998, 130 p.
7. Shevchuk L.I., Aftanaziv I.S., Strogan O.I., Starchevsky V.D. Low-frequency vibration resonance cavitators: monograph. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2013, 175 p.
8. Silin R.I., Hordeev A.I., Paraska G.B., Parkhomenko V.D., Kravchuk V.V. Innovative nanotechnologies for activation and decontamination of water and vibration equipment: monograph, Khmelnytsky: KhMTSNII, 2013, 252 p.
9. Hansiuk A.L., Aleksandrenko V.P., Nzdorovin V.P. Change in the composition of organic and aqueous organic environments under the influence of fretting processes. Materials of the XII International scientific and practical conference Areas of scientific thought. V. 8. Technical science. Construction and architecture. Geography and geology, sheffield, 2016/2017, p. 36-39.

Отримана/Received : 6.2.2018 р. Надрукована/Printed :24.3.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 62.755

І.В. ДРАЧ
Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РІДИННОГО АВТОБАЛАНСИРА: ВПЛИВ ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ РОБОЧОЇ РІДИНИ

Застосування рідинних автобалансирів для компенсації експлуатаційних змін дисбалансу роторних систем без їх зупинки становить інтерес через відносну конструктивну простоту цих пристроїв, які є пасивними регуляторами прямої дії, що не потребують підведення енергії і системи керування для переміщення коригувальних мас. Відсутність досліджень впливу в'язкості рідини на ефективність автобалансування і обґрунтованості підбору рідини при конструюванні рідинних АБП поставило вимогу проаналізувати роботу рідинного АБП в реальній системі з врахуванням впливу властивостей рідини на ефективність процесу балансування вертикального ротора. Показано, що ефективність балансування зростає при наближенні кутової швидкості до критичної і при збільшенні зовнішнього опору; для рідинних АБП масові сили робочої рідини мають менший вплив на ефективність балансування ніж сили в'язкості.

Ключові слова: ротор, критична швидкість, дисбаланс, автоматичне балансування (самобалансування), ефективність балансування, автобалансуючий пристрій (АБП), в'язкість робочої рідини.

I.V. DRACH
Khmelnytsky National University

THE FLUID BALANCER STUDY: INFLUENCE OF THE VISCOSITY OF A LIQUID WORKING BODIES

The use of liquid auto-balancers to compensate for the operational changes in the imbalance of rotary systems without stopping them is of interest because of the relative structural simplicity of these devices, which are passive direct-acting regulators that do not require power supply and control systems to move correction masses. The experience of the study of passive auto-balancing devices (ABD) indicates that the existing theory (statements) of passive automatic balancing of the fluid is idealized and inaccurately describes the processes that occur with the working bodies during their operation. In particular, the lack of studies on the effect of liquid viscosity on the efficiency of self-balancing and the reasonableness of the selection of liquid during the construction of fluid ABD demanded to analyse the operation of liquid ABD in the real system, taking into account the influence of liquid properties on the efficiency of the vertical rotor balancing process. It is shown that the: automatic fluid balancing is effective for elastically de-formable rotors, on elastic supports ones, where there is a phase difference between the direction of force from the imbalance and the rotor deflection or the displacement of the rotor; automatic balancing with the help of liquid working bodies of different densities for the vertical rotor exists at the pre-resonance, after resonance (operating) frequencies and at resonance; the efficiency of balancing increases with the approach of the angular velocity to the critical one and with the increase of the phase angle, that is, with the increase of the external resistance; liquid density does not significantly influence the optimal filling of the ABD chamber on the process of self-balancing over the entire frequency range of the rotor; the viscosity significantly affects the vibration of the rotor, even with optimum filling. Consequently, for the liquid ABD, mass forces have less effect on the balancing efficiency than the viscosity; when the chamber is filled with more liquid than the optimal volume, there is a deterioration in the efficiency of the balancing, which can be explained by the presence of waves on the free surface of the liquid, which causes a dynamic instability in the work of the machine.

Keywords: Rotor, critical speed, imbalance, automatic balancing (self-balancing), balancing efficiency, auto balancing device (ABD), working fluid viscosity.

Сучасні методи і засоби балансування дозволяють довести початковий дисбаланс виготовленого або відремонтованого ротора до величини допустимого для заданого класу точності балансування. Однак при експлуатації машини може виникнути режимна зміна початкового дисбалансу, що є для ряду машин наслідком виконуваної технологічної операції. Режимна зміна дисбалансу відбувається з різними швидкостями і зазвичай має випадковий характер.

Для компенсації режимної зміни дисбалансу можна проводити додаткове балансування, яке пов'язане із зупинкою машини і потребує великих економічних витрат. У ряді випадків зупинка небажана за умовами виконання технологічного процесу або неприпустима за умовами експлуатації. Тому найбільш перспективним, а часто і єдино можливим, є застосування автобалансуючих пристроїв (АБП), що автоматично компенсують зміну дисбалансу ротора в експлуатаційних умовах без його зупинки.

Перші найпростіші зразки пасивних АБП з'явилися більш 120 років тому. У подальшому розроблені різні типи таких пристроїв у тому числі і рідинні. Коригувальна маса – рідина не тільки створює зусилля для балансування ротора, але й є чуттєвим елементом, що реагує на зміну дисбалансу. Однак, аналіз сучасного стану теорії і практики автоматичного балансування дозволяє зробити висновок про те, що існуюча теорія рідинних АБП обмежується розглядом ідеалізованої роторної системи без демпфірування і без урахування гідродинамічних властивостей рідини, рідинні АБП є найбільш невивченими, немає для них конструкторських розрахунків, які б враховували властивості рідин (густину, в'язкість, температуру та ін.). Практика застосування рідинних АБП показала, що в реальних системах теоретичні висновки, одержанні при розгляді ідеалізованої системи, не підтверджуються [1]. Це поставило вимогу проаналізувати роботу рідинного АБП в реальній системі з врахуванням дії зовнішнього демпфірування, що було зроблено у [2]. Метою даної статті є аналіз впливу в'язкості рідини на ефективність процесу балансування вертикального ротора. Вивчення залежності ефективності балансування від в'язкості рідини в рідинному АБП дає можливість розширити області їх застосування.

Історія рідинного автоматичного балансування починається з 1916 року, коли французький інженер Леблан (Leblanc) запропонував конструкцію рідинного АБП для зрівноваження екстрактора пральної машини під час її роботи. Пізніше було запропоновано АБП Сирла, АБП Дункан, а також відомі удосконалення конструкцій АБП типу Леблана. На жаль, ніде не знайдено вказівок про застосування цих запатентованих конструкцій у реальних машинах, тобто про їх впровадження у виробництво [3]. Вперше зробив спробу теоретично обґрунтувати принцип дії АБП Леблана, кільцевих, маятникових і кульових АБП у циклах своїх статей Сирл (E.L. Thearle) [4]. Він запропонував плоску модель ротора і АБП. У її рамках у ротора існує єдина критична швидкість, при перевищенні якої ротор починає обертатися легкою стороною назовні і починає проявлятися явище самоцентрування ротора, яке і було покладено Сирлем в основу принципу роботи усіх пасивних АБП. Насправді, тут явище самоцентрування видається за явище самобалансування.

Підходи і результати робіт E.L. Thearle склали основу наступних досліджень: Дж. Ларрі, О.О. Гусарова [5], В.П. Нестеренка [6], H.S. Hoon, L.J. Young, S. Suzuki [7], Є.М. Пашкова [8, 9], Chung-Hyo Jung, Chang-Sub Kim, Yun-Ho Choi [10], M.A. Langthjema, T. Nakamurab [11], Cunico M.W.M. [12], H.-W. Chen, W.-X. Ji, Q.-J. Zhang, Y. Cao and S.-Y. Fan [13] та інших науковців в галузі балансування роторів машин пасивними рідинними АБП. А отриманий без врахування специфічних властивостей корегуючи мас, сил опору, а відтак, теоретично необґрунтований і експериментально неперевірений висновок про обмеженість діапазону працездатності таких автобалансуючих пристроїв закритичною (або зарезонансною) зоною обертання ротора є недослідженим і до тепер.

За наявними результатами огляду джерел мережі Internet основними виробниками і промисловими користувачами пасивних АБП (зокрема кулькових і рідинних пристроїв), є такі відомі компанії, як LG Electronics Inc. [14, 15], Whirlpool Corporation [16], SKF AutoBalancer Systems [17], Samsung Electronics Co. Ltd [18]. Однак відомостей про практичну реалізацію зазначених вище пристроїв для автоматичного балансування роторів машин не знайдено. Такі розробки існують лише як ідеї у патентах. Відомі компанії використовують ідею пасивного автобалансування у рекламі своєї продукції, що свідчить про актуальність таких АБП, однак широке використання їх на серійних машинах гальмується невирішеністю багатьох проблем у теорії і практиці зрівноваження роторів пасивними АБП, наявністю низки явищ і протиріч, які ще не знайшли належного теоретичного обґрунтування.

Зокрема відсутність досліджень впливу в'язкості та густини робочої рідини на ефективність автобалансування і обґрунтованості підбору рідини при конструюванні рідинних АБП поставило вимогу проаналізувати роботу рідинного АБП в реальній системі з врахуванням впливу властивостей рідини на ефективність процесу балансування вертикального ротора.

Результати теоретичних досліджень

Нехай вертикальний гнучкий ротор на двох жорстких опорах, що обертається з кутовою швидкістю ω, містить у собі АБП, який має вигляд циліндричної порожнини радіуса R і висотою h із рідиною (дисбаланс якої є меншим за дисбаланс ротора). Розглянемо математичну модель переміщення рідини в камері АБП під впливом зміни сумарного дисбалансу системи і прогину.

Сумарний дисбаланс системи ротор – рідина $\overline{D_C}$ складається з векторної суми дисбалансу вала $\overline{D_0}$ і дисбалансу рідини $\overline{D}$. Нехай O – точка перетину осі вигнутого вала з площиною порожнини (рис. 1); O_1–O_1 – лінія підшипників; C_0 – центр мас вала, C – центр мас рідини, C_c – центр мас системи вал – рідина; M – маса вала, m – маса рідини; $\overline{OC} = \overline{e} = \dfrac{\overline{D}}{(m+M)}$ – „орієнтований" ексцентриситет центра мас рідини в системі АБП - рідина; вектор $\overline{OC_0} = \overline{e_0} = \dfrac{\overline{D_0}}{(m+M)}$ – „орієнтований" ексцентриситет ротора маси M; $\overline{OC_C} = \overline{e_C} = \dfrac{\overline{D_C}}{(M+m)}$ – „орієнтований" сумарний ексцентриситет ротора з рідиною. Для наочності теоретичні викладки супроводжуються комп'ютерними відеокадрами положень рідини в АБП, одержаними шляхом використання методу швидкісної відео зйомки, що докладно описаний у [1].

При швидкості обертання системи $\omega < \omega_{кр}$ зовнішній опір (сили тертя в підшипниках, сили тертя циліндра об повітря і т.д.) обумовлює відставання площини прогину (I – I) від площини сумарного дисбалансу (OC_c) на кут δ (рис. 1).

Рідина прагне зайняти положення в найбільш віддаленому місці від осі обертання, тобто в прогині. Це приводить до зміни сумарного дисбалансу системи за напрямком і величиною, оскільки величина сумарного дисбалансу $\overline{D_C} = (M+m)\cdot\overline{e_C}$ визначається як геометрична сума векторів $\overline{D_0} = M\cdot\overline{e_0}$ – дисбалансу ротора і $\overline{D} = m\cdot\overline{e}$ – дисбалансу рідини й залежить від кута між цими векторами α (рис. 1), який характеризує положення рідини відносно дисбалансу ротора. Оскільки для даної кутової швидкості кут відставання прогину від сумарного дисбалансу δ є постійним, то зі зміною напрямку сумарного дисбалансу змінюється і положення прогину відносно початкового дисбалансу $\overline{D_0}$ (тобто кут цього відставання відносно початкового дисбалансу збільшується). Рідина слідуючи за прогином, знову змінює сумарний

дисбаланс, збільшуючи кут α і зменшуючи величину сумарного дисбалансу. Це приводить до зменшення величини прогину і зміни його положення відносно $\overline{D_0}$ (тобто до збільшення кута відставання). Теоретично цей процес повторюється поки кут відставання α не набуде значення 180°, а прогин не набуде мінімального значення (або 0 – при повному зрівноваженні). Покажемо це аналітично.

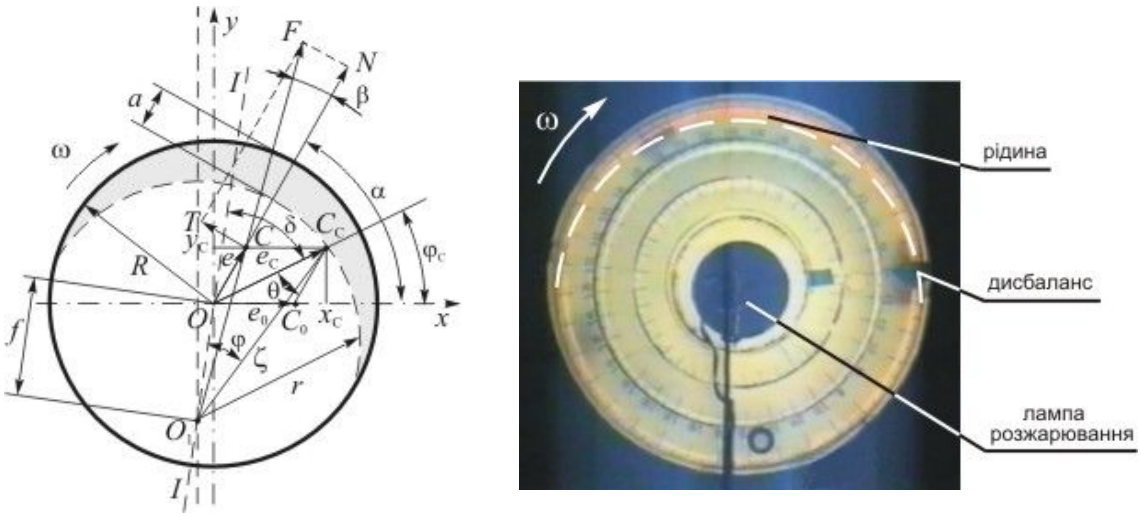


Рис. 1. Сили, які діють в АБП при наявності опору

Випадок ідеальної рідини

Сумарний ексцентриситет ротора з рідиною визначимо як

$$e_c = \sqrt{x_c^{\,2} + y_c^{\,2}} = e\sqrt{1 + 2k\cos\alpha + k^2}.$$

де $k = \dfrac{D_0}{D}$ – відношення дисбалансів ротора і рідини.

Аналіз геометричної моделі (рис. 1) показує , що умовою рівноваги рідини без врахування сил натягу є відсутність тангенціальної складової, або:

$$\mathrm{tg}\,\beta = 0, \quad \text{або} \qquad f\left[tg\alpha\cos(\delta + \varphi_C) - \sin(\delta + \varphi_C)\right] = 0.$$

Останнє рівняння розкладається на дві умови (нуль в індексі відповідає значенням кутів для положення рівноваги рідини (β = 0)):

$$f = 0; \tag{1 а}$$

$$tg\alpha_0\cos(\delta + \varphi_{0C}) - \sin(\delta + \varphi_{0C}) = 0. \tag{1 б}$$

Умова (1 а)) відповідає випадку відсутності прогину, що суперечить умові задачі для пружно-деформівного ротора. А з умови (1 б)) випливає, що при рівновазі рідини

$$tg\alpha_0 = tg(\delta + \varphi_{0C}).$$

Враховуючи значення e, e/e_0, e_c і , що $\theta = \alpha - \varphi_c$ [4], одержуємо

$$\sin\alpha_0 = \frac{1}{k}\sin\delta\sqrt{1 + 2k\cos\alpha_0 + k^2}. \tag{2}$$

З рівності (2) слідує, що при відсутності зовнішнього опору в системі ($\delta = 0$, $k \neq 0$) положення рівноваги рідини співпадає за кутом з положенням дисбалансу ротора (α =0), що відповідає висновку про те, що в системі без зовнішнього демпфування рідина збільшує дисбаланс.

Шляхом алгебраїчних перетворень виразу (6) при $\delta \neq 0$, $k \neq 0$ одержимо вираз для визначення кута α_0, який відповідає положенню рівноваги рідини (β = 0):

$$\alpha_0 = \pi - \arccos\left(\sin^2\delta + \sqrt{\left(\sin^2\delta - 1\right)\cdot\left(\sin^2\delta - k^2\right)}\right) \tag{3}$$

Проаналізувавши вираз (3), одержимо, що аргумент арккосинуса додатній вираз, а тому навіть на докритичних частотах обертання ротора при $\delta \in \left(0, \dfrac{\pi}{2}\right)$ кут $\alpha_0 \in \left(\dfrac{\pi}{2}, \pi\right)$; ефективність балансування характеризується відношенням відхилень від осі обертання центра мас системи без рідини і з рідиною λ_0:

$$\lambda_0 = \frac{k}{\sqrt{1 + 2k\cos\alpha_0 + k^2}}; \tag{4}$$

при $1+2k\cos\alpha_0+k^2 = 0$ буде повне зрівноважування, звідки єдиним розв'язком буде $k = 1$ при $\cos\alpha_0 = -1$, тобто при $\alpha_0 = \pi$. Отже, найбільший ефект балансування досягається, коли велична дисбалансу рідини, яка бере участь у балансуванні, буде близька до початкової величини дисбалансу ротора ($k \approx 1$). Рідина, яка не бере участі у балансуванні, розташовується концентричними колами, не впливаючи на сумарний дисбаланс системи.

Випадок в'язкої рідини

На відміну від ідеальних рідин у реальних рідинах при русі одних шарів рідини відносно інших діють сили, які дотичні до площин дотикання шарів. Ці сили називають силами в'язкого тертя (силами внутрішнього тертя) або силами в'язкості [19]. Уявно рідину можна поділити на нескінченну кількість шарів. Вздовж стінок камери досить тонкий шар рідини прилипає до поверхні і утворює примежовий шар. Його швидкість дорівнює швидкості системи. У межах цього шару сили в'язкості є настільки ж істотними, як і сили інерції. За межами примежового шару швидкість шарів рідини зменшується по мірі віддалення від стінок і вплив в'язкості тут зменшується відповідно. При відносному переміщенні на кожний з шарів діють сили: з боку шару, швидкість якого більша, діє сила на шар, швидкість якого менша. Напрям цієї сили збігається з напрямом руху рідини. З боку шару, швидкість руху якого менша, на шар, що рухається з більшою швидкістю, діє сила, яка напрямлена у протилежний бік від руху рідини, тобто вона цей шар гальмує.

В'язкість – це властивість рідин, що характеризує опір їх течії під дією зовнішніх сил. За Ньютоном сила внутрішнього тертя в рідині пропорційна зміні швидкості в шарах рідини, а коефіцієнт пропорційності, який називають динамічним коефіцієнтом внутрішнього тертя або коефіцієнтом в'язкості чи просто в'язкістю, залежить від природи і стану рідини [20]. Коли рідина знаходиться у відносному спокої, то ця сила обертається на нуль.

На рідину, що почала рухатися зі стану абсолютного спокою, діє сила внутрішнього тертя. Цей вид тертя обумовлений тертям у рідині, а тому він має місце в камерах з як завгодно малою шорсткістю стінок.

Величина втрат енергії, що витрачається на роботу сил опору в одиницях сил тиску дорівнює [20]

$$\Delta P = \frac{4F_T}{\pi d^2},$$

де d – діаметр перерізу камери.

Звідки

$$F_T = \frac{\pi}{4}\Delta P \cdot d^2.$$

За формулою Дарсі [19] маємо

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \lambda \frac{l}{d}\frac{\mathrm{v}^2}{2g} = \rho\lambda \frac{l}{d}\frac{\mathrm{v}^2}{2},$$

де l – довжина камери;

v – середня швидкість за течією.

При невеликих швидкостях (при $\mathrm{Re}<\mathrm{Re}_{кр}$) сила тертя обумовлена в основному в'язкістю рідини і коефіцієнт опору тертя є – $\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}$, що випливає з закону Пуазейля – Гагена [20]. Оскільки $\mathrm{Re} = \frac{\mathrm{v}d}{\nu} = \frac{\mathrm{v}\rho d}{\mu}$ (де ν – кінематична в'язкість рідини, μ – динамічна в'язкість рідини), то $\lambda = \frac{64 \cdot \mu}{\mathrm{v}\rho \cdot d}$. І, отже,

$$F_T = \frac{\pi}{4}d^2 \cdot \rho\lambda \frac{l}{d}\frac{\mathrm{v}^2}{2} = \frac{\pi d^2 \rho \cdot 64\mu \cdot l \cdot \mathrm{v}^2}{8d^2 \cdot \mathrm{v}\rho} = 8\pi\mu \cdot l \cdot \mathrm{v} = 8\pi\mu \cdot \frac{\pi R\xi}{180} \cdot \omega \cdot \left|\overline{O_1C}\right| =$$
$$= \frac{8\pi^2 \mu \cdot R\xi \cdot \omega}{180}\sqrt{\left(e\cos\alpha + f\cos(\delta+\varphi_C)\right)^2 + \left(e\sin\alpha + f\sin(\delta+\varphi_C)\right)^2}, \quad (5)$$

де ξ – центральний кут, що визначає довжину дуги руху рідини.

У цьому випадку сила тертя пропорційна швидкості обертання камери, в'язкості рідини.

Це тертя в реальних системах призводить до того, що рідина може зупинятися не в обумовленому рівнянням (7) положенні рівноваги, а на деякій відстані від нього, тобто рідина має зони рівноваги. Межі зон рівноваги визначаються з умови рівноваги тертя рідини (F_T) і тангенціальної складової (T) відцентрових сил інерції рідини: $F_T = T$ або, враховуючи, що $T = F \cdot \sin\beta$, одержимо $\sin\beta = \frac{F_T}{F}$ або

$$\sin\beta = \frac{8\pi^2 \mu \cdot R \cdot \xi \cdot \omega\left|\overline{O_1C}\right|}{180 \cdot m \cdot \omega^2\left|\overline{O_1C}\right|} = \frac{8\pi^2 \mu \cdot R \cdot \xi}{180 \cdot m \cdot \omega}. \quad (6)$$

Скористаємось тригонометричною залежністю $tg\beta = \frac{\sin\beta}{\pm\sqrt{1-\sin^2\beta}}$. Тоді зони рівноваги визначаються нерівностями

$$-\frac{\frac{8\pi^2\mu\cdot R\cdot\xi}{180\cdot m\cdot\omega}}{\sqrt{1-\left(\frac{8\pi^2\mu\cdot R\cdot\xi}{180\cdot m\cdot\omega}\right)^2}}\le tg\beta\le\frac{\frac{8\pi^2\mu\cdot R\cdot\xi}{180\cdot m\cdot\omega}}{\sqrt{1-\left(\frac{8\pi^2\mu\cdot R\cdot\xi}{180\cdot m\cdot\omega}\right)^2}}. \quad (7)$$

Ці нерівності містять кутову швидкість ротора, тобто межі областей положення рівноваги в'язкої рідини залежать від кутової швидкості. Її збільшення веде до звуження меж зон рівноваги, тобто в'язка рідина намагається зупинитись точно проти дисбалансу. Із зменшенням дисбалансу ротора зменшується роль сил інерції, що діє на рідину, і збільшується роль сил тертя.

Ці нерівності містять коефіцієнт μ – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини, тобто межі областей положення рівноваги в'язкої рідини залежать від її внутрішнього тертя. При збільшенні в'язкості межі зон рівноваги розширюються.

Внутрішнє тертя між шарами реальної рідини заважає її руху. Із зменшенням кута β тангенціальна складова T відцентрової сили зменшується і в якийсь момент не зможе подолати силу тертя. Тому при наявності в'язкості зрівноважування дисбалансу буде неповним. Що підтверджують результати експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження роботи АБП та їх результати

Для дослідження поведінки рідини в втобалансуючому пристрої в дорезонансній та зарезонансній зонах обертання ротора розроблено та виготовлено макет АБП із оптично-прозорого матеріалу, який дозволяє візуально або за допомогою сучасних засобів відеозйомки прослідкувати роботу АБП на всіх режимах експлуатації. АБП є кільцем із зовнішнім діаметром Ø400 мм, двома концентричними перегородками діаметрами Ø300 і Ø200 мм, що утворюють три концентричні камери для розташування в них робочих тіл. Усі три камери герметично ізольовані одна від одної.

Установка для дослідження поведінки робочих тіл в АБП являє собою жорсткий консольний вертикальний ротор пружно підвішеним до корпусу. Для забезпечення достатньої жорсткості ротора і закріпленого на ньому АБП перший має форму пустотілого циліндра з листової нержавіючої сталі із днищем на одному кінці, яке жорстко закріплене на валу.

Вісь ротора через підшипники кочення зв'язана з жорсткою платформою, з'єднаною з корпусом установки чотирма пружно демпферними підвісками (власна частота коливань підвішеної системи складає ~ 9 - 10 Гц). На вільному кінці пустотілого циліндра (далі ротора) установлений макет АБП, що вставляється в ротор і кріпиться до нього по зовнішньому діаметру за допомогою фіксаторів. Завдяки цьому забезпечуються необхідні жорсткість закріплення АБП на роторі і співвісність. Макет АБП має внутрішній отвір, достатній для вільного доступу до внутрішньої порожнини ротора, що дозволяє без демонтажу АБП змінювати дисбаланс ротора як за місцем розташування, так і за величиною шляхом прикріплення до внутрішньої стінки заданого вантажу, що під час досліджень додатково утримується відцентровими силами.

Привід ротора здійснюється синхронним електродвигуном з потужністю на валу 180 Вт через понижуючу клинопасову передачу. Двигун живиться змінним струмом, напруга якого може змінюватися в широкому діапазоні за допомогою автотрансформатора із системою керування. Завдяки цьому установка дозволяє задавати обертання ротору з різними частотами, що лежать у діапазоні 0,5-18 Гц (30–1080 об/хв), задавати різні кутові прискорення при розгоні ротора, зупинятися в дорезонансній, резонансній і зарезонансній зонах обертання ротора на заданий час з метою детальних досліджень роботи АБП.

Дослідження коливань установки здійснювалися за допомогою вібровимірювального стенда. Блок-схему підключення апаратури, об'єднаної в єдиний вібровимірювальний стенд, подано на рисунку 2.

Для зняття амплітудно-частотних характеристик системи проводили одночасний запис усіх попередньо зфазованих датчиків на прохід від нуля до максимальних оборотів і витримці при різних значеннях дисбалансу ротора на цих експлуатаційних оборотах. Одночасно із записом показів вібродатчиків записувались у той самий файл сигнали датчика частоти обертання ротора.

Запис показів датчиків на прохід дозволяє отримати реальну амплітудно-частотну характеристику досліджуваної системи з врахуванням впливу на неї різних чинників, наприклад, пускового крутильного моменту приводного електродвигуна.

Для виключення впливу монтажного дисбалансу самого ротора на одержувані результати перед проведенням досліджень робили його балансування на робочих оборотах методом обходу вантажами.

Експериментально перевірено вплив густини рідини в камері на амплітуду коливань і відповідно на ефективність балансування при різних значеннях дисбалансу ротора. Для цього на роторі машини встановлювався АБП і знімались АЧХ коливань системи при дисбалансах 1000 г·см і 2000 г·см. В якості робочих рідин взято: бензин (рефинат бензольного реформина ТУ-38, 5901471) густиною 670 кг/м^3; прісну воду густиною 1000 кг/м^3; ортофосфорну кислоту густиною 1650 кг/м^3. Не змінюючи місцерозташування та маси дисбалансу у автобалансир (камеру радіуса 200 мм) заливався бензин покроково з кроком 50 мл (50–400 мл), а потім аналогічно вода прісна і ортофосфорна кислота. Після кожної зміни об'єму рідини здійснювався запис вібрацій ротора при його русі на прохід і будувались АЧХ вібрацій системи.

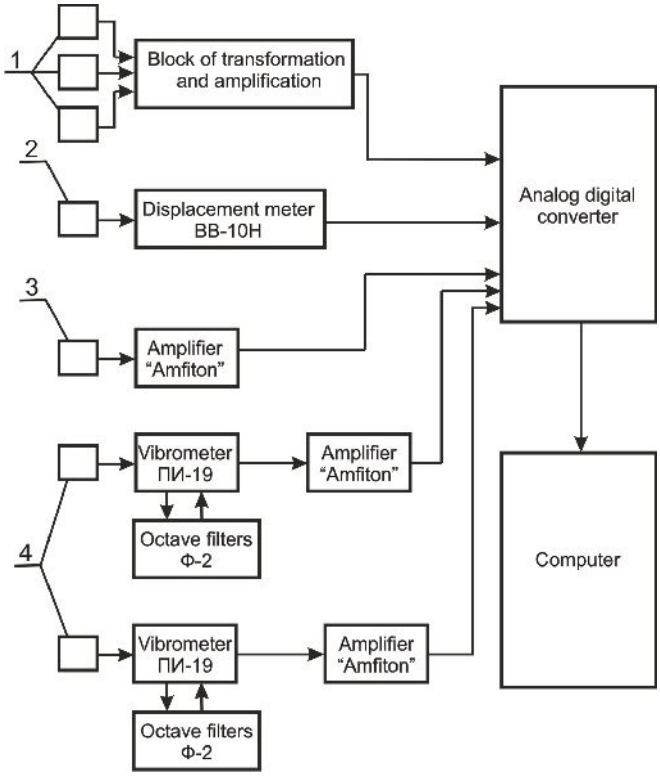
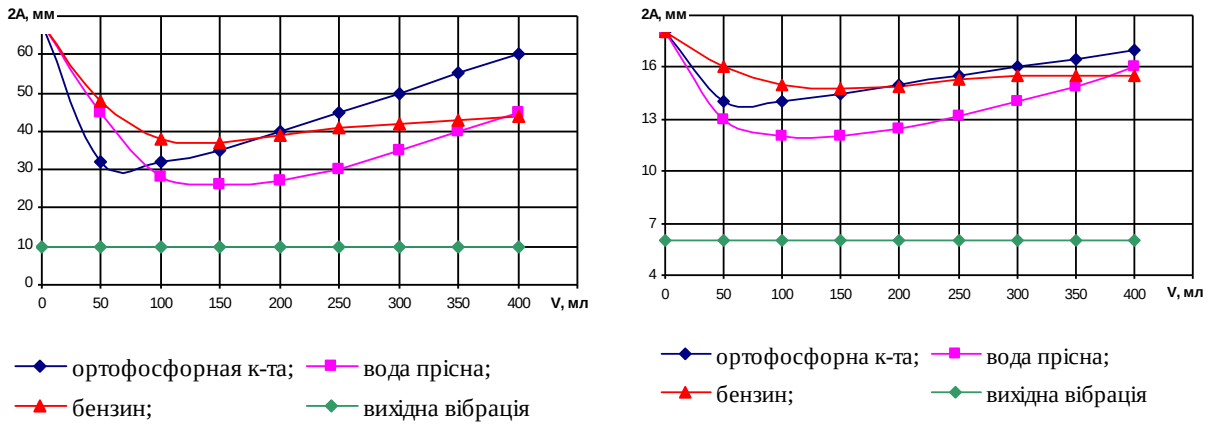


Рис. 2. Блок-схема апаратури для дослідження коливань: 1 – фотоприймачі; 2 – індуктивний датчик; 3 – індукційний датчик оборотів; 4 – акселерометри

На рис. 3 подано залежності амплітуди коливань системи від об'єму рідин в камері АБП, побудовані на основі одержаних АЧХ при дисбалансі 2000 г·см, резонансній частоті 10 Гц і робочій частоті 14 Гц.

Усі графіки (рис. 3) відображають амплітуди вібрацій верхнього краю розбалансованого барабана (крім вихідної вібрації) при постійних масі і положенні дисбалансу та різних об'ємах робочих рідин. Графік вихідної вібрації відображає амплітуду максимально збалансованого барабану.

Проаналізувавши графічні результати досліджень (рис. 3) можна зробити висновки, що автоматичне балансування за допомогою рідких робочих тіл різної густини для вертикального ротора на резонансній і робочій частотах очевидне; ефективність балансування зростає при наближенні кутової швидкості до критичної і при збільшенні фазового кута, тобто при збільшенні зовнішнього опору; для досліджуваних рідин існує оптимальний інтервал для об'єму рідини, що заливається в камеру, він становить від 50 мл до 100 мл для більш важкої ортофосфорної кислоти, 100–150 мл для води прісної і 150–200 мл для бензину при масі дисбалансу 100 г (D=2000 г·см). Отже оптимальний об'єм пропорційний густині рідини. При недотриманні умови достатності рідини в камері, подальше її додавання в камеру призводить до втрати точності балансування. Це можна пояснити хвилеутворенням на вільній поверхні рідини. В [4] показано, що зона нестійкості залежить від маси рідини. Отже найважча рідина – ортофосфорна кислота при збільшенні об'єму дає найгіршу ефективність балансування.



а) **б)**

Рис. 3. Залежність амплітуди коливань верхнього краю барабана з різним заповненням камери АБП: а) на резонансній частоті; б) на робочій частоті

З наведених на рис. 4 АЧХ коливань барабана при значенні дисбалансу 2000 г·см видно, що запропоновані рідинні АБП дозволяють надійно виходити на робочі частоти обертання, оскільки резонансна амплітуда коливань ротора зменшується не менше ніж на 40% при заповнені камери АБП рідинами різної густини об'ємом 100 мл, а АБП починає балансувати систему ще в до резонансній зоні (6 Гц).

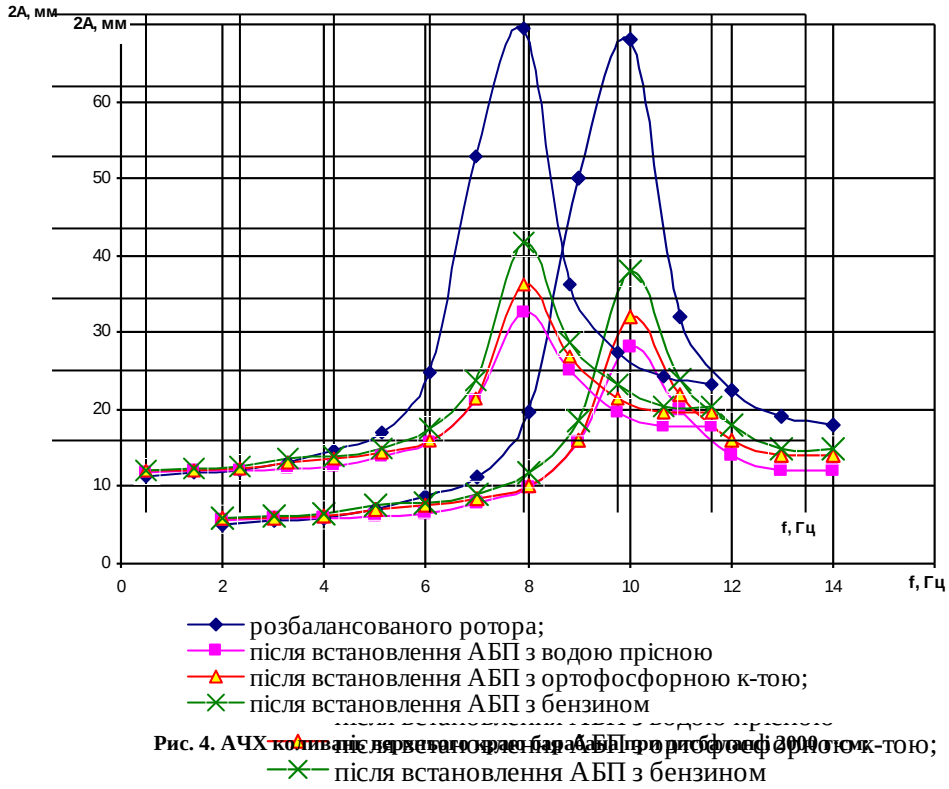
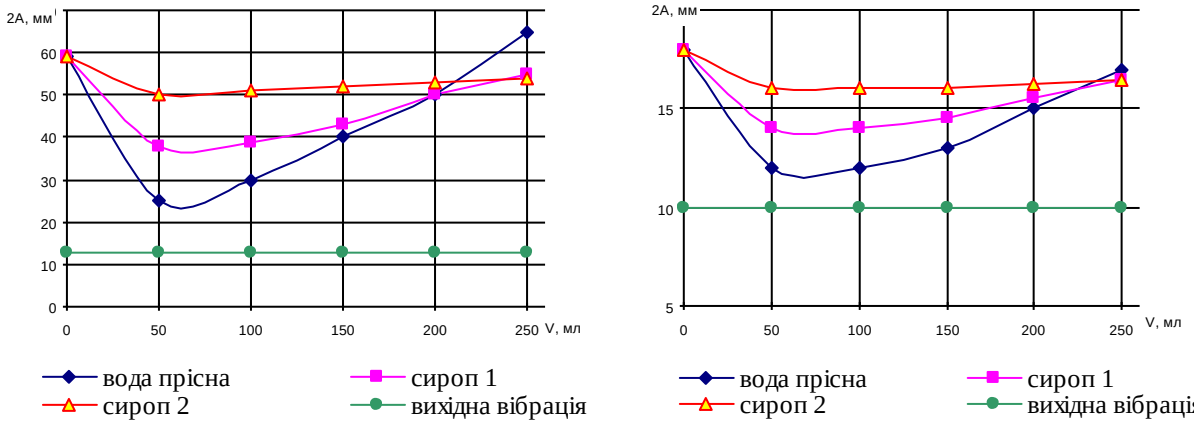


Рис. 4. АЧХ коливань верхнього краю барабана при дисбалансі 2000 г·см

після встановлення АБП з ортофосфорною к-тою;
після встановлення АБП з бензином

З рис. 4 видно, що густина рідини несуттєво впливає при оптимальному заповненні камери АБП на процес автобалансування на всьому діапазоні частот руху ротора. Максимальне розходження в амплітудах коливань становить не більше 10 мм.

Для визначення впливу в'язкості рідини на ефективність процесу автоматичного балансування проведено серію досліджень з рідинами близькими за густиною, але суттєво різними за в'язкістю.



а) **б)**

Рис. 5. Залежність амплітуди коливань верхнього краю барабана від об'єму рідини з різним заповненням камери АБП: а) на резонансній частоті; б) на робочій частоті

В якості робочих рідин взято: прісну воду (густина 1000 кг/м^3; кінематична вязкість1,01·10^{-6} м^2/с – визначено за таблицями в'язкості рідин); цукровий сироп 1 (густина 1230 кг/м^3; кінематична в'язкість 14,4·10^{-6} м^2/с – визначені експериментально); цукровий сироп 2 (густина 1370 кг/м^3; кінематична в'язкість 96,97·10^{-6} м^2/с – визначені експериментально). В'язкість специфічних рідин вимірювалась за допомогою віскозиметра системи Енглєра (ГСТ6275) в градусах Енглєра (°Е).

Експериментальним шляхом досліджено вплив в'язкості балансувальної рідини на коливання машини. Для цього були записані АЧХ коливань барабана з дисбалансом D=1000 г·см системи з АБП без рідини і з зазначеними вище рідинами в камері радіуса 200 мм, які заливалися покроково з кроком 50 мл (50–250 мл). Результати досліджень подано на рис. 5, з якого видно, що різні за в'язкістю, але близькі за густиною рідини мають однаковий оптимальний об'єм заповнення 50–100 мл.

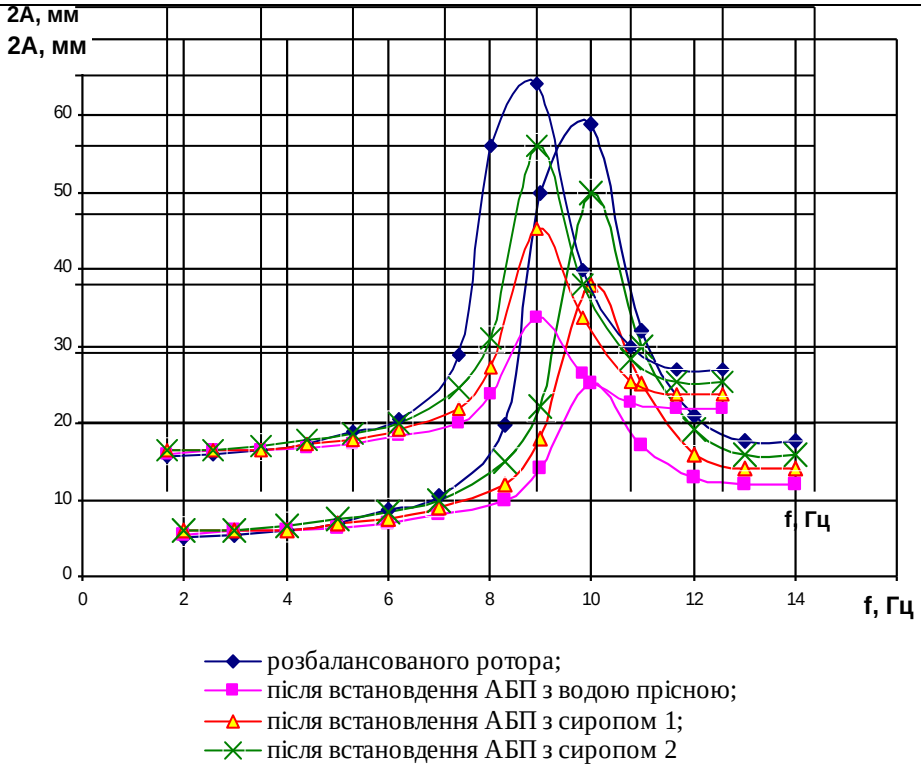


Рис. 6. АЧХ коливань верхнього краю барабана при дисбалансі 1000 гр·см:

після встановлення АБП з водою прісною;
після встановлення АБП з сиропом 1;
після встановдення АБП з сиропом 2

Усі графіки відображають амплітуди вібрацій верхнього краю розбалансованого барабана (крім вихідної вібрації) при постійних масі і положенні дисбалансу та різних об’ємах робочих рідин. Графік вихідної вібрації відображає амплітуду максимально збалансованого барабану.

Порівнюючи відповідні залежності (рис. 6) можна відмітити, що в’язкість суттєво впливає на вібростан ротора, навіть при оптимальному заповненні. Так застосування АБП з прісною водою призводить до зменшення подвійної амплітуди коливань барабана на резонансі з 59 мм до 24 мм, а застосування АБП з сиропами призводить до зменшення подвійної амплітуди на резонансі з 59 мм до 50 мм для сиропу 2 і з 59 мм до 38 мм для сиропу 1. Отже для рідинних АБП масові сили мають менший вплив на ефективність балансування ніж сили в’язкості.

Висновки

Проаналізувавши результати теоретичних і експериментальних досліджень можна зробити висновки:

автоматичне балансування за допомогою рідких робочих тіл різної густини для вертикального ротора на дорезонансній, зарезонансній (робочій) частотах і на резонансі очевидне (порівнюємо з графіком, що зображає АЧХ розбалансованого ротора);

ефективність балансування зростає при наближенні кутової швидкості до критичної і при збільшенні фазового кута, тобто при збільшенні зовнішнього опору;

густина рідини несуттєво впливає при оптимальному заповненні камери АБП на процес автобалансування на всьому діапазоні частот руху ротора;

в’язкість суттєво впливає на вібростан ротора, навіть при оптимальному заповненні. Отже для рідинних АБП масові сили мають менший вплив на ефективність балансування ніж сили в’язкості.

при заповненні камери більшою кількістю рідини, ніж оптимальний об’єм, спостерігається погіршення ефективності балансування, що можна пояснити наявністю хвиль на вільній поверхні рідини, які викликають динамічну нестійкість у роботі машини.

Література

1. Royzman V. Improving theory for automatic balancing of rotating rotors with liquid self balancers / V. Royzman, I. Drach // Mechanika. – 2005. – № 4 (54). – P. 38–44.

2. Royzman V. System Analysis of Automatic Balancing (Self-Balancing) Machine Rotors with Liquid Working Bodies / V. Royzman, A. Bubulis, I. Drach // Solid State Phenomena. – 2009. – Vol. 147–149. – P. 374–379.

3. Никифоров А.Н. Состояние проблемы уравновешивания роторов / А.Н. Никифоров // Вестник научно-технического развития. – 2013. – № 4 (68). – С. 20–28.

4. Thearle E.L. Automatic dynamic balancers (Part 1. Leblanc balancer) / E.L. Thearle. – Machine Design, 1950. – P. 119–124.

5. Гусаров А.А. Балансировка роторов машин : 2 кн. / А.А. Гусаров. – М. : Наука, 2004.

6. Нестеренко В.П. Теория и практика устройств автоматической балансировки роторов : автореф. дисс. … д-ра техн. наук : 05.02.18 “Теория механизмов и машин”/ В.П. Нестеренко. – Новосибирск, 1990. – 34 с.

7. Hoon H. S. A study on the dynamic behaviour of an automatic washing machine / H. S. Hoon, L.J. Young, S. Suzuki, H. W. Gu // Nippon Kikai Gakkai Kankyo Kogaku Sogo Shinpojiumu Koen Ronbunshu. – 2001. Vol. – 11. – P. 131–134.

8. Pashkov E. Efficiency of Balancing by Liquid-Type Automatic Balancing Devices / E.N. Pashkov, N.V. Martyushev, A.V. Ponomarev // Advanced Materials Research : Scientific Journal. – 2014. – Vol. – 1040 : High Technology: Research and Applications. – 2014 (HTRA 2014). – P. 858–863.

9. Pashkov E. Evaluation of Gravitational Force Effect on Balancing Processes in Liquid-Type Autobalancing Devices / E. N. Pashkov, N. V. Martyushev, I. A. Masson // Advanced Materials Research : Scientific Journal. – 2014. – Vol. 1040 : High Technology: Research and Applications 2014 (HTRA 2014). – P. 642–649.

10. Jung C.H. A dynamic model and numerical study on the liquid balancer used in an automatic washing machine / C.H. Jung, C.S. Kim, Y.H. Choi // Journal of Mechanical Science and Technology. – 2008. – Vol. – 22. P. 1843–1852.

11. Langthjem M. A. Dynamics of the fluid balancer: Perturbation solution of a forced Korteweg-de Vries-Burgers equation / M. A. Langthjem, T. Nakamura //数理解析研究所講究録 第巻– 2013. – Vol. – 1847. – P. 73–85.

12. Marlon Wesley Machado Cunico Characterization and Modelling of LeBlanc Hydrodynamic Stabilizer: A Novel Approach for Steady and Transient State Models / M. W. M. Cunico // Modelling and Simulation in Engineering. – 2015. – Vol. – 2015, Article ID 729582, 11 pages.

13. Chen H.-W. Study on steady-state response of a vertical axis automatic washing machine with a hydraulic balancer using a new approach and a method for getting a smaller deflection angle / H.-W. Chen, Q. Zhang, S.-Y. Fan // J. Sound Vib. – 2011. – Vol. 330. – P. 2017–2030.

14. Pat. US 9663889 B2 Republic of Korea. Laundry treating apparatus [Електронний ресурс] / Keunjoo Kim, Jinwoong Kim, Seungchul Park. – Owner name: Lg Electronics Inc. – заявл. 19.02.2015 ; опубл. 30.05.2017, Бюл. № US 14/626,420. – Режим доступу : http://www.google.com/patents/US9663889 (may 30, 2017)

15. Pat. EP 3085827 A1 Republic of Korea. Balancing unit and laundry treatment apparatus [Електронний ресурс] / Keunjoo Kim, Jinwoong Kim, Seungchul Park. – Owner name: Lg Electronics Inc. – заявл. 11.02.2014 ; опубл. 26.05.2016, Бюл. № US EP20160165454. – Режим доступу : http://www.google.com/patents/EP3085827A1?cl=en (may 26, 2016)

16. Pat. US 20120144598 A1 Republic of Korea. Laundry treating appliance with balancing system [Електронний ресурс] / Stephen D. Ostdiek., Vishal Verma. – Owner name: Whirlpool Corporation – заявл. 08.12.2010 ; опубл. 14.06.2012, Бюл. № US EP20160165454. – Режим доступу : http://www.google.com/patents/US20120144598 (June 14, 2012)

17. SKF-Automatic balancing units [Електронний ресурс] : Automatic balancing units. – Режим доступу : http://www.skf.com/us/industry-solutions/portable-power-tools/applications/grinders-planners-and-sanders/automatic-balancing-unit/index.html (December 01, 2017)

18. Pat. US 8984918 B2 Republic of Korea. Washing machine, inner tub of washing machine and balancer connection and assembly method thereof [Електронний ресурс] / Yong Kwon Kim, Kyu Chai Lee, Hong Seok Ko, Sang Up Lee. – Owner name: Samsung Electronics Co., Ltd. – заявл. 20.08.2010 ; опубл. 24.03.2015, Бюл. № US 12/805,861. – Режим доступу : www.google.com.ua/patents/US8984918 (March 24, 2015)

19. Дущенко В.П. Загальна фізика: Фізичні основи механіки: Молекулярна фізика і термодинаміка. / В.П. Дущенко, І.М. Кучерук. – К. : Вища шк., 1993. – 431 с.

20. Альтшуль А.Д. Гидравлика и аэродинамика (Основы механики жидкости) / А.Д. Альтшуль, П.Г. Кисельов. – М. : Стройиздат, 1975. – С. 24–25.

References

1. Royzman V. Improving theory for automatic balancing of rotating rotors with liquid self balancers / V. Royzman, I. Drach // Mechanika. – 2005. – № 4 (54). – P. 38–44.

2. Royzman V. System Analysis of Automatic Balancing (Self-Balancing) Machine Rotors with Liquid Working Bodies / V. Royzman, A. Bubulis, I. Drach // Solid State Phenomena. – 2009. – Vol. 147–149. – P. 374–379.

3. Nykyforov A.N. Sostoianye problemy uravnoveshyvanyia rotorov / A.N. Nykyforov // Vestnyk nauchno-tekhnycheskoho razvytyia. – 2013. – № 4 (68). – C. 20–28.

4. Thearle E.L. Automatic dynamic balancers (Part 1. Leblanc balancer) / E.L. Thearle. – Machine Design, 1950. – P. 119–124.

5. Husarov A.A. Balansyrovka rotorov mashyn : 2 kn. / A.A. Husarov. – M. : Nauka, 2004.

6. Nesterenko V.P. Teoryia y praktyka ustroistv avtomatycheskoi balansyrovky rotorov : avtoref. dyss. … d-ra tekhn. nauk : 05.02.18 “Teoryia mekhanyzmov y mashyn”/ V.P. Nesterenko. – Novosybyrsk, 1990. – 34 s.

7. Hoon H. S. A study on the dynamic behaviour of an automatic washing machine / H. S. Hoon, L.J. Young, S. Suzuki, H. W. Gu // Nippon Kikai Gakkai Kankyo Kogaku Sogo Shinpojiumu Koen Ronbunshu. – 2001. Vol. – 11. – P. 131–134.

8. Pashkov E. Efficiency of Balancing by Liquid-Type Automatic Balancing Devices / E.N. Pashkov, N.V. Martyushev, A.V. Ponomarev // Advanced Materials Research : Scientific Journal. – 2014. – Vol. – 1040 : High Technology: Research and Applications. – 2014 (HTRA 2014). – P. 858–863.

9. Pashkov E. Evaluation of Gravitational Force Effect on Balancing Processes in Liquid-Type Autobalancing Devices / E. N. Pashkov, N. V. Martyushev, I. A. Masson // Advanced Materials Research : Scientific Journal. – 2014. – Vol. 1040 : High Technology: Research and Applications 2014 (HTRA 2014). – P. 642–649.

10. Jung C.H. A dynamic model and numerical study on the liquid balancer used in an automatic washing machine / C.H. Jung, C.S. Kim, Y.H. Choi // Journal of Mechanical Science and Technology. – 2008. – Vol. – 22. P. 1843–1852.

11. Langthjem M. A. Dynamics of the fluid balancer: Perturbation solution of a forced Korteweg-de Vries-Burgers equation / M. A. Langthjem, T. Nakamura // 数理解析研究所講究録 第巻 – 2013. – Vol. – 1847. P. – 73–85.

12. Marlon Wesley Machado Cunico Characterization and Modelling of LeBlanc Hydrodynamic Stabilizer: A Novel Approach for Steady and Transient State Models / M. W. M. Cunico // Modelling and Simulation in Engineering. – 2015. – Vol. – 2015, Article ID 729582, 11 pages.

13. Chen H.-W. Study on steady-state response of a vertical axis automatic washing machine with a hydraulic balancer using a new approach and a method for getting a smaller deflection angle / H.-W. Chen, Q. Zhang, S.-Y. Fan // J. Sound Vib. – 2011. – Vol. 330. – P. 2017–2030.

14. Pat. US 9663889 B2 Republic of Korea. Laundry treating apparatus [Elektronnyi resurs] / Keunjoo Kim, Jinwoong Kim, Seungchul Park. – Owner name: Lg Electronics Inc. – zaiavl. 19.02.2015 ; opubl. 30.05.2017, Biul. № US 14/626,420. – Rezhym dostupu : http://www.google.com/patents/US9663889 (may 30, 2017)

15. Pat. EP 3085827 A1 Republic of Korea. Balancing unit and laundry treatment apparatus [Elektronnyi resurs] / Keunjoo Kim, Jinwoong Kim, Seungchul Park. – Owner name: Lg Electronics Inc. – zaiavl. 11.02.2014 ; opubl. 26.05.2016, Biul. № US EP20160165454. – Rezhym dostupu : http://www.google.com/patents/EP3085827A1?cl=en (may 26, 2016)

16. Pat. US 20120144598 A1 Republic of Korea. Laundry treating appliance with balancing system [Elektronnyi resurs] / Stephen D. Ostdiek., Vishal Verma. – Owner name: Whirlpool Corporation – zaiavl. 08.12.2010 ; opubl. 14.06.2012, Biul. № US EP20160165454. – Rezhym dostupu : http://www.google.com/patents/US20120144598 (June 14, 2012)

17. SKF-Automatic balancing units [Elektronnyi resurs] : Automatic balancing units. – Rezhym dostupu : http://www.skf.com/us/industry-solutions/portable-power-tools/applications/grinders-planners-and-sanders/automatic-balancing-unit/index.html (December 01, 2017)

18. Pat. US 8984918 B2 Republic of Korea. Washing machine, inner tub of washing machine and balancer connection and assembly method thereof [Elektronnyi resurs] / Yong Kwon Kim, Kyu Chai Lee, Hong Seok Ko, Sang Up Lee. – Owner name: Samsung Electronics Co., Ltd. – zaiavl. 20.08.2010 ; opubl. 24.03.2015, Biul. № US 12/805,861. – Rezhym dostupu : www.google.com.ua/patents/US8984918 (March 24, 2015)

19. Dushchenko V.P. Zahalna fizyka: Fizychni osnovy mekhaniky: Molekuliarna fizyka i termodynamika. / V.P. Dushchenko, I.M. Kucheruk. – K. : Vyshcha shk., 1993. – 431 s.

20. Altshul A.D. Hydravlyka y aerodynamyka (Osnove mekhanyky zhydkosty) / A.D. Altshul, P.H. Kyselov. – M. : Stroiyzdat, 1975. – S. 24–25.

Рецензія/Peer review : 13.02.2018 р. Надрукована/Printed :28.03.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Ройзман В.П.

УДК 621.891

В.П. СВІДЕРСЬКИЙ, В.С. ЯРЕМЧУК
Хмельницький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ І РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАСПОКОЮВАЧА ЛАНЦЮГА ГАЗОРОЗПОДІЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

Проведений аналіз роботи та оцінка зношування заспокоювача ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання. Обґрунтований вибір іншого матеріалу, з метою заміни базового, для виготовлення заспокоювача ланцюга газорозподільного механізму. Виконані лабораторні дослідження зносостійкості запропонованого антифрикційного матеріалу графелон-20 показали доцільність його застосування в якості заміни. Описана розрахункова модель зношування матеріалу заспокоювача та наведені результати розрахунків. Подані основні технологічні процеси виготовлення пластини заспокоювача з нового матеріалу.

Ключові слова: газорозподільний механізм, заспокоювач ланцюга, графелон-20, зносостійкість, технологія виготовлення.

V.P. SVIDERSRKYI, V.S. YAREMCHUK
Khmelnytsky National Univesity

THE INCREASE OF WEAR RESISTANCE AND THE DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY FOR PRODUCING THE GAS-DISTRIBUTING CHAIN GUIDE OF GEAR FOR AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Automobile engine was used for the analysis of construction and operation of one of primary mechanisms of an internal combustion engine – gas-distributing. During the analysis, evaluation of wear resistance of some of its most important elements has been done; chain damper has been defined as a critical detail. Improvement of wear resistance of this part assures impact on the provision of exploitation period of the entire mechanism. Based on the results of the analysis, evaluation of basic types of gas-distribution mechanism failures, including wear of the chain damper, has been done; critical parameters of this wear have been defined, which allowed proposing a theoretical model for calculation of dominating types of wear. Basic conditions of this model have been calculated for the scheme of contact of two cross cylinders, whose axis projections cross each other at a 90º-angle, one of the cylinders being stationary. Based on the obtained model, given the prescribed values of load, and friction path, calculation parameters of the model of steady wear, contact pressure in harness have been defined; the value of wear depending on friction path and coefficient of wear comparison for two adopted anti-friction materials (basic (СКН-40 rubber) and newly-proposed (grafelon-20)) has been calculated. The results show that 'grafelon-20' material prevails over the basic material almost in 5.4 times in terms of wear resistance. Based on the calculations done, a technological scheme of production of laboratory samples for research of 'grafelon-20' material was tested and a technological process of production of damper plates was proposed. It envisages three basic operations: briquetting, pressing, and pasting of the produced plate to metal base. The author has provided a detailed description, characteristics, and some peculiarities of these operations, such as defining the temperature of heating while pressing, duration of heating, and the value of pressure needed.

Key words: gas-distribution mechanism, chain damper, wear resistance, 'grafelon-20', production technology.

Вступ. Двигун внутрішнього згорання складається з чотирьох систем – мащення, охолодження, живлення та запалювання, а також двох механізмів – кривошипно-шатунного і газорозподільного, в якому основою виступає розподільний вал.

Цей вал – чавунний, встановлений на п'яти опорних шийках, розміщених в алюмінієвому литому корпусі, і обертається в підшипниках ковзання, розташованих на головці циліндрів [1, 2]. На передній частині розподільного вала кріпиться зірочка *1*. Від осьових переміщень розподільний вал утримується опорним фланцем, утвореним за рахунок проточки передньої опорної шийки.

Привід розподільного вала забезпечується дворядним втулково-роликовим ланцюгом *2* від привідної зірочки *5* (рис. 1), яка обертається колінчастим валом. Цим самим ланцюгом приводиться також в рух зірочка *4* вала приводу масляного насоса. Біля ланцюга розміщується напівавтоматичний натяжний пристрій *8* з башмаком *7* та заспокоювачем ланцюга *3*, в конструкції яких передбачені гумові накладки.

У нижній частині блока циліндрів розміщений обмежувальний палець *6*, який запобігає спаданню ланцюга в картер при знятті зірочки *1* розподільного вала. Для правильного взаємного розміщення зірочок, тобто для виставлення фаз газорозподілу, передбачені верхні та нижні установчі мітки. Верхні – розміщені на зірочці розподільного вала і корпуса підшипників, а нижні – на зірочці колінчастого

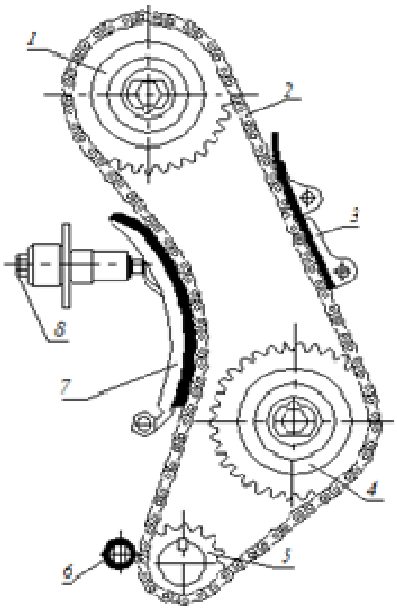


Рис. 1. Ланцюговий привід газорозподільного механізму:
***1* – зірочка розподільного вала; *2* – ланцюг; *3* – заспокоювач; *4* – зірочка вала масляного насоса; *5* – привідна зірочка; *6* – обмежувальний палець; *7* – башмак; *8* – натяжний пристрій**

вала та блока циліндрів.

Дворядний втулково-роликовий ланцюг у двигуні автомобіля ВАЗ виконує роль привідного органу механізму газорозподілу. При постійних змінах частоти обертання колінвала виникають коливання ланок ланцюга, для зменшення яких передбачені заспокоювачі – металеві колодки з нанесеною гумовою накладкою.

Заспокоювач ланцюга газорозподільного механізму виготовлений зі сталі 10, на поверхні якої методом вулканізації нанесена гумова накладка. Сталь 10 (вміст вуглецю < 0,25 %) має невисоку твердість і, водночас, високу пластичність.

Гумова накладка заспокоювача – бутадієннітрильний каучук (продукт сумісної полімеризації бутадієну з нітрилом акрилової кислоти). Залежно від складу, каучук може бути різних марок: СКН-18, СКН-26, СКН-40. Наявність у молекулах каучуку групи –CN– надає йому полярні властивості. Чим вища полярність матеріалу, тим кращі його механічні та хімічні властивості і тим нижча морозостійкість (до прикладу, для СКН-18 – від «мінус» 50 °С до «мінус» 60 °С, для СКН-40 – від «мінус» 26 °С до «мінус» 28 °С).

У нашому випадку, в якості накладки для заспокоювача ланцюга застосовують каучук СКН-40, який вулканізують за допомогою сірки. Гумотехнічні вироби на основі цього каучуку можуть працювати в середовищах бензину, палива та мастил в інтервалі температур від «мінус» 30 °С до 130 °С.

Дворядний ланцюг газорозподільного механізму двигуна складається з таких частин: валиків, втулок, роликів, зовнішніх та внутрішніх пластин. Валики виготовлені зі сталі 40Х. Зі збільшенням вмісту вуглецю для цієї сталі зростають міцнісні характеристики, але знижуються пластичність та в’язкість. Гартування хромистої сталі 40Х незначне, оскільки вона схильна до відпускної крихкості, і тому після високого відпуску, охолодження має бути швидким, причому, для невеликих деталей – у мастилі, а масивних – у воді.

Втулки та ролики виготовлені зі сталі 45, яка є середньовуглецевою сталлю (0,3–0,5 % С); її застосовують після нормалізації, покращення та поверхневого гартування для різноманітних деталей у багатьох галузях машинобудування. Гартування сталі незначне; критичний діаметр після гартування у воді не перевищує 10–12 мм (для 95 % мартенситу).

Зовнішні і внутрішні пластинки ланцюга виготовлені зі сталі 65Г – сталі з високим вмістом вуглецю (0,6–0,85 %), яка має підвищену міцність, зносостійкість і характеризується пружними властивостями. Її застосовують після гартування та відпуску, нормалізації і відпуску та поверхневого гартування, для деталей, що працюють в умовах тертя, за наявності високих статичних або вібраційних навантажень.

У газорозподільному механізмі двигунів найбільш часто виходить з ладу заспокоювач ланцюга, який, як уже зазначалося, складається з металевої пластини, на яку нанесена методом вулканізації каучукова накладка, що досить швидко зношується під постійною дією на неї ланок ланцюга. Щоб забезпечити тривалу довговічність та достатню зносостійкість заспокоювача, а при цьому і всього газорозподільного механізму, необхідно підвищити зносостійкість найбільш критичного елемента – матеріалу накладки.

Мета дослідження. Ставиться задача проаналізувати роботу заспокоювача ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання на прикладі легкового автомобіля, з обґрунтуванням вибору іншого конструкційного матеріалу для заміни базового, з метою підвищення його зносостійкості, що дозволить збільшити в цілому ресурс роботи механізму. Розробити та розрахувати параметри теоретичної моделі зношування заспокоювача ланцюга газорозподільного механізму. На цій основі необхідно виконати порівняльні лабораторні дослідження зносостійкості запропонованого антифрикційного матеріалу (графелон-20) та базового, в якості якого виступає каучук СКН-40. Як підсумок дослідження, запропонувати технологічну схему виготовлення пластини заспокоювача ланцюга з нового антифрикційного матеріалу.

Основний розділ

1.1. Види відмов окремих деталей та вузла в цілому. Для прийнятого вузла тертя найбільш часто фіксуються наступні відмови – розрив ланцюга приводу газорозподільного механізму через надмірно великі навантаження; обрив заспокоювача і натяжного башмака в результаті видовження ланцюга та його надмірного радіального биття; значний знос контактних поверхонь зірочок, опорних поверхонь деталей тертя ланцюга, заспокоювача та натяжного башмака.

Нормований ресурс роботи газорозподільного механізму визначається гарантійними 60 тис. км пробігу автомобіля, а оскільки ланцюг та його заспокоювач, що працюють в системі цього механізму, є критичними елементами механізму, то їх ресурс також повинен бути не менше цієї величини [2]. Слід зазначити, що деякі елементи механізму газорозподілу мають значно більший ресурс, так, наприклад, ресурс ланцюга в окремих типах двигунів внутрішнього згорання сягає 100 тис. км, а в деяких випадках – 200–250 тис. км, однак розрахунок необхідно виконувати для нижньої гарантованої межі.

1.2. Аналіз умов роботи та видів зношування заспокоювача. Розрахунковий максимальний контактний тиск у з’єднанні «заспокоювач–ланцюг» має становити 1,6 МПа [2].

Шлях тертя визначаємо з виразу:

$$S = \hat{E}_n S_{\ddot{e}}, \tag{1}$$

де K_n – коефіцієнт перекриття (K_n = 0,094); $S_л$ – шлях, який проходить ланцюг у контакті з пластиною заспокоювача за одну годину і визначається залежністю:

$$S_{\ddot{e}} = L_{\varsigma} N_y, \tag{2}$$

тут $L_з$ – довжина заспокоювача ($L_з$ = 150 мм); N_y – кількість циклів за одну годину (N_y = 180 000 год$^{-1}$).

Після визначення отримаємо, що $S_л$ = 27 км, а шлях тертя, відповідно, S = 2,54 км.

У цьому вузлі тертя, тобто в контакті між ланцюгом та заспокоювачем, спостерігається водночас абразивне і втомне зношування [3], які виникають як наслідок дії граничного тертя. Абразивне зношування характеризується процесами безпосередньої взаємодії контактних поверхонь тертя з абразивними частками. Результатом цього зношування є інтенсивне руйнування робочих поверхонь деталей машин.

Втомне зношування представляє собою тип механічного зношування внаслідок втомного руйнування при багаторазовому повторному деформуванні мікрооб'ємів матеріалу поверхневого шару. Цей процес характеризується прихованим латентним періодом, під час якого відбувається накопичення пошкоджень всередині структури матеріалу. Типовим представником втомного зношення є піттинг, що виникає при терті кочення у кулько- або роликопідшипниках, опорно-поворотних вузлах, катках, обертових бандажах тощо.

Втомне зношування також виникає в результаті багаторазового пластичного і пружного витиснення матеріалу. Цей процес також має прихований латентний період, при якому виникає накопичення пошкоджень всередині металу. Оскільки тверді тіла (в т.ч. метали) неоднорідні, то втомні тріщини переважно виникають на границях неоднорідностей дефектів та недосконалостей структури кристалу.

У результаті повторних дій на поверхню тертя втомні тріщини збільшуються за кількістю та глибиною і достатньо виконання 10^6–10^7 циклів для руйнування матеріалу навіть за малих напружень.

Поверхня зношування при втомному руйнуванні має вигляд глибоких ямок з крутими стінками. Початкові стадії руйнування можуть виникати і розташовуватися на деякій відстані від поверхні контакту деталей, в зоні максимальних дотичних напружень.

При терті полімерів пружні деформації викликають утворення втомних тріщин, які переважно розміщуються в поперечному напрямі стосовно вектора швидкості ковзання. Ці тріщини призводять до руйнування фрикційного вузла.

Для ударно-втомного зношування характерне поступове формування рельєфу і повільне наростання зносу. Поверхня зношування не має явно визначеного рельєфу у вигляді рисок або лунок. Як результат співударів зразків з високою твердістю згладжуються початкові нерівності і технологічні шорсткості на поверхні.

1.3. Порівняння фізико-механічних властивостей матеріалів графелон-20 і каучуку СКН-40. Для заміни базового матеріалу заспокоювача ланцюга (каучук СКН-40) газорозподільного механізму пропонується використати матеріал графелон-20, отриманого на основі ароматичного поліаміду, який є стійким до ударів та зносу під дією тертя, а також до високих температур (у межах 180–320 °С). Порівняльна характеристика фізико-механічних властивостей зазначених матеріалів наведена в табл. 1 [4, 5].

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості графелона-20 і каучуку СКН-40

Параметр характеристики матеріалу	Найменування матеріалу	
	Графелон-20	Каучук СКН-40
Модуль пружності при стиску, МПа	4–5	2–2,5
Температура крихкості, °С	–80	–45
Відносне видовження при розриві, %	6,6	4,5
Міцність на розтяг, МПа	80–90	25–30

Аналіз фізико-механічних характеристик цих матеріалів показав, що графелон-20 суттєво переважає за своїми фізико-механічними параметрами каучук СКН-40.

1.4. Методика та результати лабораторних випробувань. Для лабораторних досліджень був обраний метод випробування на зношування за схемою «перехресних циліндрів».

Контактування зразків відбувалося за наступних умов [3]:

прийнята схема контакту двох перехресних циліндрів, проекції осей яких перетинаються під ку-том 90°; зовнішні радіуси циліндрів r_1 та r_2 у загальному випадку різні, тобто $r_1 \neq r_2$;

циліндри притискаються один до одного з постійним навантаженням Q = const;

перший циліндр (1) – обертовий, без зносу, другий циліндр (2) – необертовий, зношується;

при дослідженні отримуємо еліптичну площадку контакту розмірами a та b, які періодично вимірюють; як результат випробувань відомі експериментальні функції $a(S)$ та $b(S)$, де S – шлях тертя;

зношування $u_w(S)$ необертового циліндра відбувається за моделлю сталого зносу, і якщо $r_1 = r_2$, то такі результати відповідають випадку контактування куль.

Випробування здійснювалися за таких параметрів: частота обертання робочого вала n = 1440 хв$^{-1}$; його діаметр $d_в$ = 16 мм; діаметр зразка, що випробовується, $d_{1з}$ = 10 мм; загальне контактне навантаження для моделі Q = 0,1 кг.

Під час випробовувань, через визначений проміжок часу вимірювали фактичні розміри осей еліптичної плями контакту ($2a^*$ та $2в^*$), де a^* та $в^*$ – поточний розмір, відповідно. Еквівалентний радіус кола визнається за співвідношенням: $a=(a^* \cdot \hat{a}^*)^{1/2}$.

Шлях тертя S для досліджуваних зразків визначали за формулою (3):

$$S = \pi \cdot d \cdot n \cdot \tau, \tag{3}$$

де d – діаметр контртіла, мм; n – число обертів контртіла за одну хвилину; τ – час обертання, хв.

У випадку, коли буде відома експериментальна крива $a(S)$, за цією залежністю можна розрахувати параметри моделі зношування.

Результати випробувань на зношування зразків дослідного та базового матеріалів наведені на рис. 2.

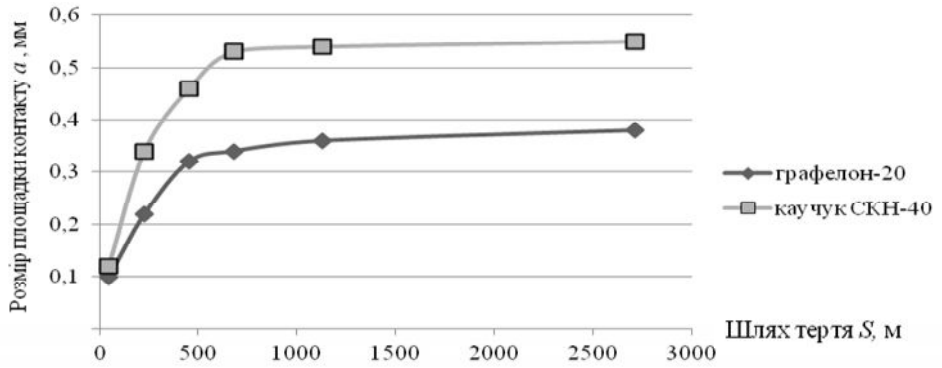


Рис. 2. Залежність розміру площадки контакту від шляху тертя для досліджуваних матеріалів

Наведемо необхідні співвідношення для прийнятої моделі. Параметр апроксимації β експериментальних кривих визначали за допомогою двох точок: (a_1, S_1) та (a_2, S_2):

$$\beta = \frac{\log \frac{a_1}{a_2}}{\log \frac{S_1}{S_2}}. \quad (4)$$

Параметр m моделі зношування знаходили за залежністю (5):

$$m = \frac{1-2\beta}{2\beta}. \quad (5)$$

Параметр моделі k_w визначали за формулою (6):

$$k_w = \frac{a_1^{2m+2} - a_0^{2m+2}}{r_{1ç}(2m+2)\cdot(Q/\pi)^m \cdot S_1}. \quad (6)$$

Контактний тиск σ у реальному спряженні був розрахований за формулою (7):

$$\sigma = P / F, \quad (7)$$

де P – навантаження (у спряженні «заспокоювач–ланцюг», P = 12,5 кгс [2]); F – площа контакту, мм^2:

$$F = \pi \cdot r_{1ç}^2, \quad (8)$$

тут $r_{1з}$ – радіус зразка, мм.

Розрахунок зносу U_w здійснювали за формулою (9):

$$U_w = k_w \cdot \sigma^m \cdot S. \quad (9)$$

Параметри моделі зношування, результати зносу для шляху тертя S = 50 км та коефіцієнт порівняння зносу, наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Параметри моделі зношування, результати зносу та коефіцієнт порівняння зносу

Найменування матеріалу	Параметри моделі зношування			Знос U_w, мм	Коефіцієнт порівняння зносу K
	β	m	$k_w \cdot 10^{-6}$		
Каучук СКН-40	0,194	1,5450	0,2928	0,855	–
Графелон-20	0,223	1,2395	0,0311	0,159	$U_{w1}/U_{w2} = 0,855/0,159 = 5,38$

Аналіз отриманих результатів показав, що матеріал графелон-20 за зносостійкістю переважає матеріал каучуку СКН–40 майже у 5,4 разу.

1.5. Технологічна схема виготовлення лабораторних зразків і пластини заспокоювача ланцюга з матеріалу графелон-20. Заготовки лабораторних зразків композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду – графелон-20, виготовляли відповідно до рекомендованої послідовності [6].

Шихту композиційного матеріалу засипали в прес-форму, підпресовуючи декілька разів під тиском 30–35 МПа. Потім нагрівали утворений прес-матеріал за відсутності тиску до температури 335–340 °С, термостатуючи при цій температурі 5 хв та 5 хв – під тиском 45–50 МПа. Після цього нагрівання повністю припиняли, вмикали вентилятор і охолоджували прес-форму до температури 200–220 °С, підтримуючи тиск 45–50 МПа. Потім, за відсутності тиску, охолоджували прес-форму до температури 70–80 °С і виймали одержану заготовку. Після виготовлення зразки перевіряли на міцність стисненням за ГОСТ 33519–2015 [8].

Технологічний процес виготовлення пластини заспокоювача складається з таких операцій [6].

1. Брикетування. Порошкові ароматичні поліаміди, які одержуються емульсійною поліконденсацією, як правило, мають низьку насипну щільність (0,15–0,25 г/см^3). При завантаженні порошку в прес-форму, завантажувальну камеру необхідно було би робити значно більших розмірів, ніж готовий виріб, що допускається тільки для деяких видів деталей незначних габаритів.

У більшості випадків застосовують низьку завантажувальну камеру, в яку закладають прес-матеріал у вигляді брикетів, що одержані попереднім пресуванням порошку за кімнатної температури. Таким чином, крім зменшення габаритів прес-форм досягається покращення умов прогрівання прес-матеріалу у формах за рахунок збільшення теплопровідності. При використанні брикетів також покращується та прискорюється завантаження прес-матеріалу у форму, оскільки відпадає необхідність його розрівнювання, яку значно складніше виконувати за високої температури форми. При перенесенні матеріалу у вигляді брикету із сушильної шафи у прес-форму, завдяки нижчій гігроскопічності він поглинає менше вологи з повітря, ніж у випадку порошкової суміші. Із сухого порошкового матеріалу отримують достатньо міцні брикети щільністю 0,45 г /см^3.

При виготовленні брикету, який за формою і розмірами подібний до виробу, необхідно враховувати, що його розміри при вийманні з форми, зберіганні, а особливо при нагріванні під час сушіння, збільшуються на 1,5–2 % порівняно з розмірами форми, в якій виконується брикетування. Тому необхідно передбачати зменшення розмірів форми для брикетування порівняно з формою для гарячого пресування, наближеної до кінцевих розмірів готового виробу.

Прес-форми для брикетування необхідно вибирати зі значною висотою завантажувальної камери, що розрахована на повний об’єм наважки порошку. Додаткове пресування прес-порошку при завантаженні не рекомендується – на готовому виробі при цьому появляються окремі смужки, що відповідають межам між підпресованою та знову підсипаною порціями матеріалу і що може негативно впливати на міцнісні характеристики виробів та викликати їх неоднорідності.

Ці неоднорідності у виробах виникають, якщо використовувати прес-матеріал у вигляді таблеток. Крім погіршення зовнішнього вигляду при застосуванні таблеток знижується міцність виробів, що особливо помітно при виготовленні виробів простих форм: пластин, циліндрів, втулок. У цих випадках прес-матеріал немає можливості для достатнього розтікання, тому границі розділення між таблетками повністю не зникають. Крім того, насипна щільність таблеток порівняно зі щільністю брикетів знижена майже на 60 %. Все це робить недоцільним застосування способу прямого пресування виробів із прес-матеріалу у вигляді таблеток. За великої площі і малої товщини виробів, прес-порошок перед брикетуванням потрібно ретельно розрівняти.

2. Пресування. Ароматичні поліаміди перед нагріванням до високої температури необхідно ретельно підсушувати від накопиченої атмосферної вологи з метою запобігання термічної деструкції. Зазвичай прес-матеріал підсушують у брикетованому вигляді. Прес-порошки із матеріалу графелон-20 можна нагрівати на повітрі до порівняно високих температур, тому більш доцільно застосовувати звичайні сушильні шафи, а не складні вакуумні сушарні.

Режим сушіння значно впливає на якість виробів. При переробці схильних до кристалізації полімерів, температуру сушіння необхідно знижувати, оскільки за її високих значень виникає впорядкованість структури полімеру, що призводить до збільшення кінцевої ламкості виробів.

Температура гарячого пресування ароматичних поліамідів вибирається з урахуванням експериментальної температурної залежності, яка впливає на міцність виробів. Вибір цих температур для полімерів, що кристалізуються, визначається порогом зниження в’язкості розплаву, яка зменшується з підвищенням температури та попередженням кристалізації, швидкість якої зростає при збільшенні температури. Тому оптимальною температурою пресування для графелона-20 прийнята температура 340 °С, за якої показники міцності виробів, у тому числі й ударна в’язкість, досягають максимальних значень.

Висушений брикет переносять у форму, нагріту до температури дещо вище 100 °С (для того, щоб полімер не поглинав вологу з повітря). Водночас, брикет недоцільно поміщати в форму, нагріту до максимальної температури, оскільки при такій схемі і форма, і брикет нагріваються послідовно, що збільшує загальний час прогрівання. Також необхідно врахувати, що одночасне нагрівання брикету і форми сприяє додатковому підсушуванню полімеру.

Однак, в деяких випадках, завантаження прес-матеріалу в форму має відбуватися за високої температури. Це виконують у випадку малих швидкостей нагрівання форми, з метою зменшення періоду знаходження полімеру при високих температурах, які негативно впливають на якість виробів. Для визначення і розрахунку часу, необхідного для рівномірного прогрівання прес-матеріалу по всьому об’єму, можна використовувати дані температуропровідності полімерів.

Якщо прес-матеріал за температури T_a, у формі брикету з розмірами, що збігаються з розмірами порожнини форми, завантажується у форму, нагріту до певної постійної температури T_0, то тривалість нагрівання центральної частини брикету до заданої температури T_m, можна оцінити за допомогою формули (10), яку застосовують для плоскопаралельної нескінченної пластини:

$$\tau_{ї\,ё} = \frac{4}{\pi^2} \cdot \frac{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2}{a_T} \cdot \ln\left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{\theta_a}{\theta_m}\right), \qquad (10)$$

де $\tau_{пл}$ – час прогрівання середини зразка, год; δ – товщина пластини, м; a_T – коефіцієнт темпера-

туропровідності, м^2/год.

Причому, у цій формулі:

$$\theta_a = T_0 - T_a, \text{ à } \theta_m = T_0 - T_m. \quad (11)$$

Розрахункова тривалість прогрівання для попередньо вибраних параметрів $a_T = 4 \cdot 10^{-4}$ м^2/год, T_0 = 340 °С, T_a = 230 °С та T_m = 335 °С (які відповідають умовам пресування графелона-20), наведена у таблиці 3.

Таблиця 3

Розрахункові значення тривалості прогрівання при пресуванні пластини з графелона-20

Товщина плоского брикету, мм	6,0	10,0	20,0	25,0	30,0	40,0	50,0
Тривалість прогрівання пластини, год	1,80	5,0	20,0	–	45,0	80,0	–

При пресуванні пластин тривалість прогрівання може бути значно зменшена в результаті дії тиску на прес-матеріал під час процесу нагрівання. Якщо в момент прикладання тиску, температура перевищує температуру склування полімеру, прес-матеріал монолітується зі значним зменшенням товщини (для графелона-20 – удвічі), крім того, для монолітного матеріалу підвищується температуропровідність. Розрахунки показують, що тривалість прогрівання пластини з графелона-20 до температури 300 °С, за відсутності тиску, а також під тиском, знижується більш ніж вдвічі, порівняно зі значеннями, наведеними у таблиці 3.

Зразки, що одержані пресуванням, в багатьох випадках мають співвимірні розміри в різних напрямах. Теплообмін при цьому відбувається по всій зовнішній поверхні прес-матеріалу і приводить до прискорення прогрівання порівняно з пластиною, яка має нескінченні розміри.

Як уже зазначалося, тривалість нагрівання зменшується, якщо прес-матеріал вносять у форму за низької температури і прогрівають його разом з нею. При нагріванні форми з постійною швидкістю різниця температур в центрі зразка та на його поверхні визначається за формулою (12) для пластини:

$$\Delta t = \frac{\omega \delta^2}{8 a_T}, \quad (12)$$

де Δt – перепад температур, °С; ω – швидкість нагрівання форми, °С/год; δ – товщина пластини, м; a_T – коефіцієнт температуропровідності, м^2/год.

Розрахунок за цією формулою показує, що перепад температур для швидкостей нагрівання 5–10 °С/хв в декілька разів менший порівняно з перепадом в тому випадку, коли брикет переноситься у форму, що нагріта до максимальної температури.

Необхідно врахувати, що при одночасному нагріванні прес-матеріалу і форми до температури пресування, тільки в центрі зразка температура відстає на величину, яка розраховується за формулою (12), за більш нагрітих інших шарів матеріалу. Очевидно, що при цьому буде значним і виграш у часі.

Для вибору тиску пресування $P_{пр}$ досліджувалась залежність показників міцності виробів від нього. Однак, застосування при пресуванні високих тисків може призвести до збільшення внутрішніх напружень у готових зразках. Висока в'язкість розплаву ароматичних поліамідів ускладнює релаксацію внутрішніх напружень, значення яких тим більші, чим вищий тиск пресування. Тому при пресуванні зразків простої форми та невисоких (до 15 мм), тиск $P_{пр}$ становить 40–50 МПа. При пресуванні ароматичних поліамідів температура, за якої прикладається тиск, визначається низкою факторів. Одним із них є необхідність додаткового підсушування прес-матеріалу, що нагрівається у прес-формі. У цьому випадку нагрівання до температури пресування $T_{пр}$ здійснюють без прикладання тиску для полегшення виходу вологи з полімеру. Прогрівання прес-матеріалу у формі без прикладання тиску сприяє також видаленню летких продуктів часткової деструкції полімеру.

Водночас, прикладання тиску за температури, нижчої $T_{пр}$, покращує теплопередачу від стінок форми і при досягненні температури розм'ягчування приводить до зменшення товщини зразка, що пресується, значно прискорюючи його прогрів. Тому вибір температури, за якої прикладається тиск до прес-матеріалу, залежить від конкретних умов переробки, виду виробів, вимог щодо них та потребує окремої групи досліджень.

Тривалість витримки під тиском визначається необхідністю повного прогрівання прес-матеріалу і часом, який затрачається на його перетікання та надання кінцевої форми виробу. При прогріві полімеру до температури $T_{пр}$ час формування виробів найбільш складної конфігурації становить не більше 5 хвилин.

Температура зняття тиску і розпресування виробу наприкінці пресування визначається в основному тим, що полімерний виріб, перш ніж буде вилучений з форми, необхідно охолодити нижче температури склування T_c, в іншому випадку незатверділа заготовка неминуче буде пошкоджена. Однак, в деяких випадках тиск можна зняти чи зменшити і за більш високих температур, причому такий режим охолодження сприяє релаксації та зниженню внутрішніх напружень у виробі. Разом з тим, якщо тиск знімають за температури, вищої T_c, міцність виробу і точність його розмірів дещо знижуються, тому при підвищених вимогах до виробів, охолодження при переробці композиційного матеріалу марки графелон-20 повинно відбуватися під тиском і при зниженні температури до 250 °С.

Для зменшення тривалості циклу пресування необхідно цілеспрямовано підвищувати швидкість охолодження форм з готовим виробом. Застосування водяного охолодження дозволяє знижувати температуру стінок форми зі швидкістю ~100 °С/хв. При цьому, необхідно враховувати, що центральна частина особливо масивних виробів, охолоджується значно повільніше. Крім цього, досить швидке охолодження виробів може

призвести до появи значних внутрішніх напружень і їхнє зсідання.

Склеювання виготовленої пластинки з металевою основою виконували за допомогою спеціального металевого клею «Мекладин» [7]. Підготовка поверхні деталей для склеювання металевими клеями принципово не відрізняється від підготовки для склеювання звичайним клеєм. Поверхню слід промити спиртом або сумішшю спирту з петролейним ефіром у співвідношенні 1:1, потім деталь необхідно просушити в термостаті за температури 40 °С. Перед нанесенням клею поверхні змочують краплею рідкого галію, який наносять вольфрамовим стрижнем. Вольфрам достатньо твердий і добре змочується галієм, через це вольфрамове вістря легко прориває окисну плівку на металі та інших поверхнях. Оксидну плівку можна видалити й іншими способами, наприклад: хімічним, але обов'язково в присутності рідкого галію.

Клей наносять невеликою лопаткою з фторопласту на деталь, підігріту до температури 35–37 °С, та притирають з поверхнею, щоб він утворив конус з іншими поверхнями. Полімерну пластинку склеюють з металевою основою, нагрітою до тієї самої температури, і притирають їх одна до одної, щоб клей повністю заповнив зазор між деталями. Потім деталь затискають у спеціальному пристрої і витримують на повітрі при кімнатній температурі протягом 24 годин, або піддають термообробці при температурі 120–140 °С протягом 6–8 годин. В останньому випадку деталь після приклеювання охолоджують до кімнатної температури.

Металевий клей «Мекладин» може експлуатуватись тривалий термін – до п'яти років. Цим клеєм можна склеювати різні деталі, які працюють у воді та мастилі.

Висновки:

1. Виконаний аналіз роботи елемента газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання (заспокоювача), який працює в умовах інтенсивного зносу.

2. Обґрунтований вибір нового антифрикційного матеріалу для заміни базового матеріалу накладки заспокоювача ланцюга газорозподільного механізму, за яким прийнято, що в якості накладок доцільно застосовувати матеріал графелон-20.

3. За результатами лабораторних досліджень зносостійкості на прикладі двох матеріалів заспокоювача ланцюга газорозподільного механізму (каучук СКН-40 і графелон-20), розраховані їх моделі зносу та визначений коефіцієнт порівняння зносу, який показав значно кращий результат при використанні запропонованого нового матеріалу.

4. Запропонована технологія виготовлення пластини заспокоювача ланцюга газорозподільного механізму з використанням нового матеріалу графелон-20.

Література

Карагодин В. И. Ремонт автомобилей и двигателей : учеб. пособие [для студ. проф. учеб. заведений] / В. И. Карагодин, Н. Н. Митрохин. – 2-е изд., стер. – М. : ИЦ «Академия», 2003. – 496 с.

Автомобили «Жигули» моделей ВАЗ-2101, 2102, 21011, 21013: устройство и ремонт / В. А. Вершигора, А. П. Игнатов, К. В. Новокшонов, К. Б. Пятков. – М. : Транспорт, 1990. – 240 с.

Кузьменко А. Г. Методи розрахунків і випробувань на зношування та надійність : навч. посібник [для студ. вищих навч. закладів] / А. Г. Кузьменко. – Хмельницький : ТУП, 2002. – 151 с.

Антифрикционные термостойкие полимеры / Г. А. Сиренко, В. П. Свидерский, В. Д. Герасимов, В. З. Никонов. – Київ : Техніка, 1978. – 246 с.

Сиренко Г. А. Антифрикционные карбопластики / Г. А. Сиренко. – Киев : Тэхника, 1985. – 195 с.

Термостойкие ароматические полиамиды / Л. Б. Соколов, В. Д. Герасимов, В. М. Савинов, В. К. Беляков. – М. : Химия, 1975. – 256 с.

Кардашов Д. А. Синтетические клеи / Д. А. Карташов. – М. : Химия, 1976. – 502 с.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 33519–2015. Композиты полимерные. Метод испытаний на сжатие при нормальной, повышенной и пониженной температурах. – М. : Стандартинформ, 2016. – 32 с.

References

1. Karagodin V. I. Remont avtomobiley i dvigateley : ucheb. posobie [dlya stud. prof. ucheb. zave-deniy] / V. I. Karagodin, N. N. Mitrohin. – 2-e izd., ster. – M. : ITs «Akademiya», 2003. – 496 s.

2. Avtomobili «Zhiguli» modeley VAZ-2101, 2102, 21011, 21013: ustroystvo i remont / V. A. Vershi-gora, A. P. Ignatov, K. V. Novokshonov, K. B. Pyatkov. – M. : Transport, 1990. – 240 s.

3. Kuzmenko A. H. Metody rozrakhunkiv i vyprobuvan na znoshuvannia ta nadiinist : navch. posibnyk [dlia stud. vyshchykh navch. zakladiv] / A. H. Kuzmenko. – Khmelnytskyi : TUP, 2002. – 151 s.

4. Antifriktsionnyie termostoykie polimeryi / G. A. Sirenko, V. P. Sviderskiy, V. D. Gerasimov, V. Z. Nikonov. – KiYiv : TehnIka, 1978. – 246 s.

5. Sirenko G. A. Antifriktsionnyie karboplastiki / G. A. Sirenko. – Kiev : Tehnika, 1985. – 195 s.

6. Termostoykie aromaticheskie poliamidyi / L. B. Sokolov, V. D. Gerasimov, V. M. Savinov, V. K. Be-lyakov. – M. : Himiya, 1975. – 256 s.

7. Kardashov D. A. Sinteticheskie klei / D. A. Kartashov. – M. : Himiya, 1976. – 502 s.

8. Mezhgosudarstvennyiy standart GOST 33519–2015. Kompozityi polimernyie. Metod ispyitaniy na szhatie pri normalnoy, povyishennoy i ponizhennoy temperaturah. – M. : Standartinform, 2016. – 32 s.

Отримана/Received : 4.2.2018 р. Надрукована/Printed :24.3.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Диха О. В.

УДК 620.197.3

Є.М. ЗАВЕРАЧ, О.І. СТРЕМЕЦЬКИЙ, А.В. СВІНТІЦЬКИЙ
Хмельницький національний університет

КАРБОНОВІ КИСЛОТИ ЯК ІНГІБІТОРИ КОРОЗІЇ АЛЮМІНІЮ В ЛУЖНИХ РОЗЧИНАХ

Значна увага до алюміній-повітряних елементів пов'язана як з їх високою питомою енергією, так і з доступністю та низькою вартістю алюмінію. Основна перешкода комерційному застосуванню цих елементів виникає внаслідок високої швидкості самочинної корозії алюмінію в лужних розчинах і в умовах розімкнутого ланцюга, і протягом розряду. Одним із шляхів зниження швидкості самочинної корозії алюмінію є введення у електроліт інгібіторів корозії. У представленій роботі досліджено корозійну поведінку алюмінію в лужних розчинах при наявності інгібіторів, аліфатичних та ароматичних карбонових кислот. Визначений їх вплив на корозійні характеристики алюмінієвих електродів. Бурштинова, лимонна та нафталінтетракарбонова кислоти показали найкращу інгібіторну здатність. На основі результатів квантово-хімічних розрахунків висунуті припущення щодо механізму дії інгібіторних добавок на основі карбонових кислот.

Ключові слова: алюмінієві електроди, корозія, інгібітори корозії, карбонові кислоти, поляризаційні криві, квантово-хімічні розрахунки.

YE.M. ZAVERACH, O.I. STREMETSKYI, A.V.SVINTITSKYI
Khmelnytskyi National University

CARBOXYLIC ACIDS AS INHIBITORS OF ALUMINIUM CORROSION IN ALKALINE SOLUTIONS

Metal-air batteries have attracted attention in electrochemical research in the last years because they have high specific energies. For these batteries, active metals such as Li, Ca, Mg, Al, Zn may be used as anode materials. Aluminium is a highly attractive energy source because it is the most abundant and economically cheap metal, has the highest among the metals theoretical specific volumetric capacity, as well as its low price-per-energy unit. A major barrier to commercialization of such batteries is the high rate of aluminium self-corrosion in alkaline solutions both under open-circuit conditions and during discharge. One of the ways to suppress this self-corrosion includes introducing corrosion inhibitors into electrolyte. Corrosion behaviour of aluminium in alkaline solutions with inhibitors, aliphatic and aromatic carboxylic acids, was investigated. Influence of inhibitors on corrosion characteristics of aluminium electrodes was estimated. It is shown that introducing carboxylic acids in alkaline solution (1 M NaOH) results in shift of stationary corrosion potential to more positive values and increase of cathodic and anodic polarization. Inhibition efficiency of carboxylic acids depends on the structure of carbon chains and the distribution of electronic density on the oxygen atoms of carboxyl group. Succinic, citric and naphthalenetetracarboxylic acids have shown the best inhibition efficiency. The inhibition efficiency of naphthalenetetracarboxylic acid has become weaker with decreasing of its concentration. Quantum-chemical calculations have been allowed to investigate of mechanisms of inhibition of aluminium corrosion. Electronic properties of molecules of carboxylic acids were calculated by semiempirical quantum-chemical method PM6. The value of formation heat, potential of ionization, E_{HOMO} and E_{LUMO} energies, dipole moment and others properties were obtained.

Key words: aluminium electrodes, corrosion, corrosion inhibitors, carboxylic acids, polarization curves, quantum-chemical calculations.

Вступ

Метал-повітряні елементи є об'єктом численних досліджень останніх років, оскільки характеризуються дуже високими значеннями питомої енергії (теоретичні значення від 1100 до 7600 Вт/кг), абсолютною автономністю, низькою вартістю виробленої електроенергії [1–5]. Метал-повітряні елементи можуть слугувати зручним доповненням для електромобілів на випадок якщо розрядився літій-іонний акумулятор чи коли потрібно проїхати велику відстань [6]. В якості анодів у метал-повітряних елементах використовуються активні метали такі, як Li, Ca, Mg, Al, Zn. Серед цих металів алюміній виділяється рядом переваг: високою гравіметричною та об'ємною ємністю (відповідно 2,89 А·год/г та 8,04 А·год/см^3), досить негативним стандартним потенціалом (-1,66 В), доступністю, високим ступенем рециркуляції, низькою вартістю. Основна перешкода комерційному застосуванню алюміній-повітряних елементів виникає внаслідок високої швидкості процесу самочинної корозії алюмінію в лужних і сольових електролітах і в умовах розімкнутого ланцюга, і протягом розряду. Це призводить до суттєвого погіршення енергетичних характеристик елементів і високого саморозряду.

Таким чином подальший розвиток алюміній-повітряних джерел струму можливий тільки при умові зниження швидкості самочинної корозії алюмінієвого аноду в лужних та сольових електролітах. Певна складність вирішення цієї проблеми полягає в тому, що процес самочинної корозії слід загальмувати, але при цьому не повинна помітно знизитись швидкість анодного розчинення алюмінію при розряді. Найбільш простий спосіб виконання цих двох вимог без суттєвого зростання вартості елементів полягає у введенні до складу електроліту речовин-інгібіторів, які б знижували швидкість катодного процесу виділення водню, не створюючи суттєвих перешкод анодному розчиненню алюмінію [4, 7, 8]. У роботах [9–11] зазначено, що при лужній обробці амфотерних металів, у миючих засобах, для зменшення саморозряду хімічних джерел струму з лужним електролітом застосовують комбінацію адсорбуючих інгібіторів корозії з катіонами і комплексонатами деяких металів. Серед оксигенвмісних органічних речовин найбільш високу інгібіторну здатність мають карбонові кислоти. При цьому їх інгібіторні властивості визначаються основністю та довжиною та будовою вуглецевого ланцюга.

Тому мета представленої роботи полягала у виявленні впливу багатоосновних аліфатичних та

ароматичних карбонових кислот на електрохімічну корозію алюмінію у лужних розчинах. Аналіз поляризаційних кривих та результатів квантово-хімічних розрахунків дасть можливість не тільки вибрати ефективний інгібітор, а й висунути певні припущення щодо механізму його дії.

Експериментальна частина

Для реалізації поляризаційних вимірів виготовляли алюмінієві електроди із фольги марки А99 товщиною 100 мкм у вигляді прапорців площею 2 см^2 зі струмовідводом шириною 2 мм та довжиною 25 мм. Попередньо алюмінієву фольгу піддавали термічній обробці при 300 °С протягом 1 год. з наступним поступовим охолодженням. Поляризаційні виміри проводили у 1 М NaOH без та при наявності інгібіторних добавок: 0,1 М $C_4H_6O_4$ (бурштинова кислота); 0,1 М $C_6H_{10}O_4$ (адипінова кислота); 0,1 М $C_6H_8O_7$ (лимонна кислота); 0,1 М $C_8H_8O_4$ (ортофталева кислота); 0,1 М $C_8H_8O_4$ (терефталева кислота); 0,01 та 0,1 М $C_{14}H_8O_8$ (нафталінтетракарбонова кислота). Безпосередньо перед проведенням поляризаційних вимірів алюмінієві електроди піддавали активації у 10% розчині NaOH при кімнатній температурі протягом 60 с.

При виконанні поляризаційних вимірів використовували трьохелектродну скляну комірку, яка містила робочий електрод у вигляді прапорця з алюмінієвої фольги, допоміжний платиновий електрод та хлорсрібний електрод порівняння. Значення стаціонарного потенціалу алюмінієвого електроду фіксували через 5–10 хв. після його занурення у досліджуваний розчин. Поляризаційні криві знімали при швидкості розгортки потенціалу 1 мВ/с. Залежність густини струму від потенціалу отримували за допомогою потенціостату ПИ-50-1.1 в компоновці з програматором ПР-8. Для запису поляризаційних кривих використовували двокоординатний реєстратор ПДА-1-01. Потенціали електродів представлені у стандартній водневій шкалі. При аналізі поляризаційних кривих визначали значення стаціонарного потенціалу корозії, $E_{ст.}$, та величини анодної, $\Delta E_{ан.}$, і катодної, $\Delta E_{кат.}$, поляризації. Величини поляризації визначали при густині струму 5 мА/см^2.

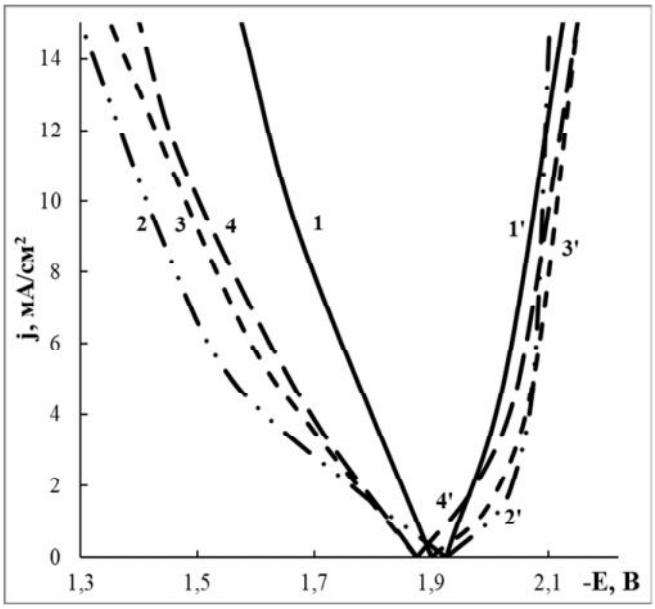


Рис. 1. Поляризаційні криві алюмінієвих електродів у 1 М розчині NaOH без (1, 1') та при наявності інгібіторів (0,1 М): аліфатичних карбонових кислот: 2, 2' – $C_4H_6O_4$; 3, 3' – $C_6H_{10}O_4$; 4, 4' – $C_6H_8O_7$

Квантово-хімічні розрахунки включали наступні етапи: побудову структурної формули досліджуваної речовини, геометричну оптимізацію молекули, вибір методу квантово-хімічного розрахунку, проведення розрахунку та формування вихідного файлу результатів. Квантово-хімічні розрахунки проводились за допомогою програмних додатків Avogadro 1.1.1 та MOPAC 2016. У програмі Avogadro 1.1.1 будували структурну формулу молекули карбонової кислоти та формували вхідний файл для додатку MOPAC 2016. Розрахунки виконували за допомогою методу PM6, який характеризується більш високою точністю та достовірністю результатів у порівнянні з іншими напівемпіричними методами (MNDO, AM1, PM3) [12]. Розрахунки електронних властивостей у програмі MOPAC 2016 проводились автоматично з одночасним генеруванням текстового вихідного файлу. З одержаних результатів найбільшу інформаційну цінність представляли наступні електронні властивості: теплота утворення (ΔH), повна енергія молекули ($E_{заг}$), потенціал іонізації (I), енергія вищої зайнятої молекулярної орбіталі (E_{HOMO}), енергія нижчої вільної молекулярної орбіталі (E_{LUMO}), дипольний момент (μ), енергетичний

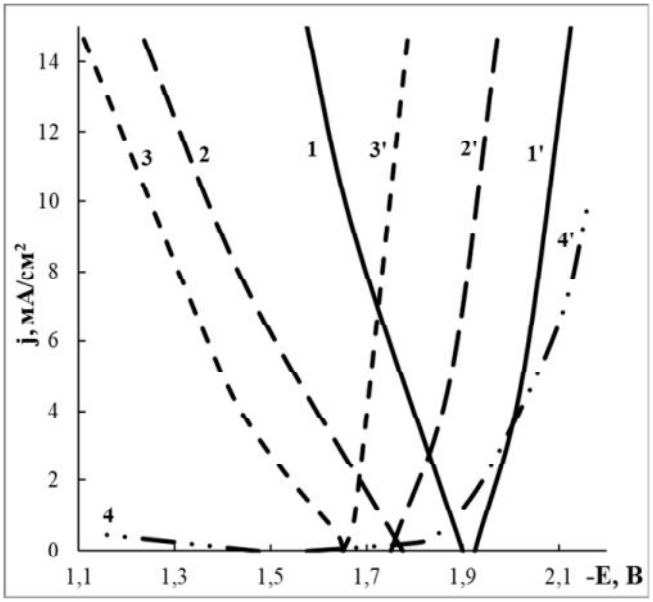


Рис. 2. Поляризаційні криві алюмінієвих електродів у 1 М розчині NaOH без (1, 1') та за наявності інгібіторів (0,1 М): ароматичних карбонових кислот: 2, 2' – $C_8H_8O_4$ (ортофталевої); 3, 3' – $C_8H_8O_4$ (терефталевої); 4, 4' – $C_{14}H_8O_8$

розрив (Δ) та розподіл електронної густини на окремих атомах молекули.

Поляризаційні криві, одержані на алюмінієвих електродах у 1 М NaOH при наявності аліфатичних та ароматичних карбонових кислот, представлені на рис. 1 та 2 відповідно. Для співставлення також наведені поляризаційні криві у 1 М NaOH без інгібіторних добавок (криві 1, 1' рис. 1 та 2). Критеріями оцінки ефективності інгібіторів були значення $E_{ст.}$, $\Delta E_{ан.}$ та $\Delta E_{кат.}$, які порівнювались з відповідними величинами, спостереженими у 1 М NaOH (табл. 1).

Отримані результати чітко демонструють, що анодна поляризація завжди більша за катодну. Проте для зменшення швидкості самочинної корозії і забезпечення можливості використання алюмінію у якості аноду у хімічних джерелах струму бажано в першу чергу збільшувати катодну поляризацію.

Таблиця 1

Значення $E_{ст.}$, $\Delta E_{ан.}$ та $\Delta E_{кат.}$ на алюмінієвих електродах у досліджуваних розчинах

Розчин	$E_{ст.}$, В	$\Delta E_{ан.}$, мВ	$\Delta E_{кат.}$, мВ
1М NaOH	-1,940	140	-100
1М NaOH + 0,1 М $C_4H_6O_4$ (бурштинова кислота)	-1,925	350	-150
1М NaOH + 0,1 М $C_6H_{10}O_4$ (адипінова кислота)	-1,888	240	-140
1М NaOH + 0,1 М $C_6H_8O_7$ (лимонна кислота)	-1,875	230	-175
1М NaOH + 0,1 М $C_8H_8O_4$ (ортофталева кислота)	-1,763	230	-125
1М NaOH + 0,1 М $C_8H_8O_4$ (терефталева кислота)	-1,650	263	-63
1М NaOH + 0,1 М $C_{14}H_8O_8$ (нафталінтетракарбонова кислота)	-1,525	620	-425

Додавання будь-якої з досліджених карбонових кислот призводило до зсуву стаціонарного потенціалу корозії до більш додатних значень та зростання як катодної, так і анодної поляризації (таблиця 1). Спостережена дія карбонових кислот обумовлена їх високою адсорбційною здатністю [9, 11]. Як видно з даних таблиці 1, величини $E_{ст.}$, $\Delta E_{ан.}$, $\Delta E_{кат}$ і відповідно інгібуючі властивості карбонових кислот, визначаються довжиною і будовою вуглецевого ланцюга. Найбільш ефективним інгібітором виявилась багатоядерна та багатоосновна нафталінтетракарбонова кислота. Слід також зазначити, що ароматичні сполуки нерідко плоско адсорбуються на поверхні металу у результаті π-електронної взаємодії молекул з поверхнею або при утворенні стійких хімічних зв'язків між функціональними групами і атомами металів [9]. Очевидно, що молекули ароматичної кислоти, що має два бензольні кільця, при плоскому розміщенні будуть екранувати більшу поверхню металевого електрода.

Слід звернути увагу на те, що у випадку аліфатичних кислот не прослідковується чіткого збільшення поляризації алюмінієвих електродів при подовженні вуглецевого ланцюга (таблиця 1). Більше зростання $\Delta E_{кат.}$ спостерігається у присутності бурштинової та лимонної кислот, а не при наявності адипінової кислоти (криві 2', 3', 4' рис 1). До того ж саме для бурштинової кислоти з найбільш коротким і нерозгалуженим ланцюгом спостерігається значне підвищення анодної поляризації (крива 2 рис. 1). Напевно, крім будови вуглецевого ланцюга, на адсорбцію карбонових кислот на поверхні алюмінієвого електрода впливають й інші структурні особливості цих речовин.

Помітне значення для інгібіторів, дія яких пов'язана з адсорбцією на поверхні металевого електрода, має їх молекулярна структура [9]. Міцність адсорбційного зв'язку і відповідно інгібіторні властивості органічних речовин визначаються електронною густиною на атомі, який є основним реакційним центром. Для карбонових кислот такими атомами є атоми Оксигену карбоксильної групи. Крім того, міцність адсорбційного зв'язку залежить і від властивостей металу. У таблиці 2 наведені значення електронних густин на атомах Оксигену, одержані в результаті квантово-хімічних розрахунків за методом PM6.

Як видно з таблиці 2, серед аліфатичних кислот найбільші значення електронної густини на атомах Оксигену характерні для адипінової кислоти, а серед ароматичних – для терефталевої кислоти. Саме для адипінової кислоти спостерігалось найменша серед аліфатичних кислот $\Delta E_{кат.}$, а при наявності в лужному електроліті терефталевої кислоти $\Delta E_{кат.}$ взагалі знижувалась на 0,037 В (таблиця 1). Не виключено, що поверхня алюмінію, як і більшості металів, в умовах цих експериментів мала негативний заряд [9]. Тому зменшення електронної густини на адсорбційних центрах молекули карбонової кислоти, атомах Оксигену, могло призвести до зростання інгібіторного ефекту. Це й обумовлює більш високі значення $\Delta E_{ан.}$ та $\Delta E_{кат}$ для бурштинової та лимонної кислот в порівнянні з адипіновою, а також зниження $\Delta E_{кат.}$ для терефталевої кислоти.

Таблиця 2

Електронні густини на атомах Оксигену досліджених карбонових кислот

Карбонова кислота	Середні значення електронної густини на атомах Оксигену		Карбонова кислота	Середні значення електронної густини на атомах Оксигену	
	у карбонілі	у гідроксилі		у карбонілі	у гідроксилі
Бурштинова	-0,5320	-0,5030	Ортофталева	-0,5229	-0,4828
Адипінова	-0,5430	-0,5069	Терефталева	-0,5269	-0,4940
Лимонна	-0,5300	-0,4862	Нафталінтетракарбонова	-0,5071	-0,4993

Вищу адсорбційну здатність ароматичних карбонових кислот можна також пов'язати з їх меншими іонізаційними потенціалами (таблиця 3). У [9] вказується, що чим менший іонізаційний потенціал, тим краще повинна адсорбуватись органічна сполука і відповідно проявляти вищий інгібіторний ефект.

Таблиця 3

Розраховані електронні властивості карбонових кислот

Карбонова кислота	Електронні властивості						
	ΔH кДж/моль	$E_{заг}$, еВ	I, еВ	E_{HOMO}, еВ	E_{LUMO}, еВ	Δ, еВ	μ, D
Бурштинова	-805,49	-1738,67	11,634	-11,634	0,173	11,807	0,009
Адипінова	-854,08	-2038,43	11,424	-11,424	0,386	11,810	0,020
Лимонна	-1338,02	-2885,56	11,156	-11,156	-0,189	10,967	2,646
Ортофталева	-614,77	-2227,15	10,648	-10,648	-1,179	9,469	2,324
Терефталева	-632,38	-2227,33	10,611	-10,611	-1,596	9,015	0,003
Нафталінтетра -карбонова	-1218,20	-4154,93	10,298	-10,297	-2,233	8,074	0,018

Негативні значення E_{HOMO} свідчать про фізичний механізм адсорбції молекул карбонових кислот на металевій поверхні [13]. Досить великі негативні значення E_{HOMO} вказують на донорні властивості молекул карбонових кислот, тобто на реалізацію передачі електронів до металічного атома та адсорбцію карбонових кислот на поверхні алюмінієвих електродів. Можливо висунути припущення, що молекули карбонових кислот будуть адсорбуватись на анодних ділянках алюмінію, де наявні іони металу, та утворювати з ними комплексні сполуки. Це призводить до блокування певних ланок поверхні алюмінієвих електродів у зв'язку з чим може змінитись як перенапруга виділення водню і відповідно швидкість катодної реакції, так і у деякій мірі загальмовуватись анодне розчинення алюмінію. Характер одержаних поляризаційних кривих (рис. 1 та 2) вказує саме на те, що досліджені карбонові кислоти впливають на перебіг як катодної, так і анодної реакції.

Оскільки для більшості досліджених карбонових кислот дипольні моменти молекул є досить малими, то їх адсорбція буде мало залежати від потенціалу електрода.

Найбільш помітне збільшення $\Delta E_{кат.}$ спостерігалось для бурштинової (крива 2' рис. 1), лимонної (крива 4' рис. 1) та нафталінтетракарбонової кислот (крива 4' рис. 2). При цьому ці кислоти також пригальмовували і анодний процес, в найменшій мірі лимонна кислота (крива 4 рис. 1) і з дуже значним зниженням швидкості анодного розчинення нафталінтетракарбонова кислота (крива 4 рис. 2). Слід особливо наголосити на тому, що інгібіторна здатність нафталінтетракарбонової кислоти помітно знижувалась при зменшенні її концентрації. Так, при додаванні до 1 М NaOH 0,01 моль/л $C_{14}H_8O_8$ на алюмінієвих електродах встановлювались більш негативні значення $E_{ст.}$ -1,838 В, а $\Delta E_{ан.}$ і $\Delta E_{кат}$ знизились до 218 та -210 мВ відповідно. Проте при цьому поверхня алюмінієвих електродів не переходить у активний стан, оскільки $E_{ст.}$ залишається на 0,1 В більш позитивним за $E_{ст.}$ алюмінієвих електродів у 1 М NaOH (таблиця 1). Таким чином нафталінтетракарбонова кислота здатна проявляти інгібіторні властивості навіть при достатньо низьких концентраціях.

Щоб підсилити вплив карбонових кислот на катодний процес при помірному впливі на анодне розчинення алюмінію слід застосувати додаткові добавки. В першу чергу такими добавками можуть бути іони металів Zn^{2+}, Pb^{2+}, Sn^{2+}, Sn^{4+}, які гальмують корозію алюмінію у лужних розчинах за рахунок збільшення перенапруги виділення водню на його поверхні, одночасно прискорюючи анодний процес [10]. Не виключено, що знизити швидкість самочинної корозії алюмінію у лужному середовищі будуть здатні ряд сполук, які успішно зарекомендували себе як інгібітори у нейтральних електролітах, зокрема: нітрити, борати, силікати, вольфрамати, молібдати [9, 10].

Висновки

Встановлено, що багатоосновні аліфатичні та ароматичні карбонові кислоти помітним чином впливають на корозійну поведінку алюмінію у лужних розчинах. Це проявляється у зміщенні стаціонарного потенціалу корозії до більш позитивних значень та зростанні $\Delta E_{ан.}$ і $\Delta E_{кат}$ на алюмінієвих електродах. Результати поляризаційних вимірів та квантово-хімічних розрахунків дозволяють стверджувати, що інгібіторні властивості карбонових кислот визначаються як будовою вуглецевого ланцюга, так і значеннями електронної густини на атомах Оксигену, які являються основними реакційними центрами при утворенні адсорбційного зв'язку з металевою поверхнею. Негативні значення E_{HOMO} свідчать про фізичний механізм адсорбції молекул карбонових кислот на металевій поверхні. Малий дипольний момент молекул багатьох досліджених карбонових кислот вказує на те, що їх адсорбція не буде залежати від зміни потенціалу металевого електрода. Визначено, що найбільший вплив на перебіг катодної реакції, що проявлявся у помітному зростанні $\Delta E_{кат.}$, мають бурштинова, лимонна та нафталінтетракарбонова кислоти, при цьому вони також гальмують і анодний процес. Для підсилення інгібіторного ефекту карбонових кислот без суттєвого зниження швидкості анодного розчинення алюмінію слід застосувати додаткові добавки речовин, які проявляють себе як ефективні інгібітори у лужних та нейтральних електролітах.

Література

1. Mori R. Electrochemical properties of a rechargeable aluminium-air battery with a metal-organic framework as air cathode material / R. Mori // Royal Society of Chemistry Advances. – 2017. – №7. – P. 6389 – 6395.

2. Mori R. Semi-rechargeable aluminium-air battery with a TiO_2 internal layer with plain salt water as an electrolyte / R. Mori // Journal of Electronic Materials. – 2016. – V. 45, № 7. – P. 3375 – 3382.

3. Zein El Abedin S. Electrochemical Behaviour of Al, Al-In and Al-Ga-In Alloys in Chloride Solutions Containing Zinc Ions / S. Zein El Abedin, F. Endres // Journal of Applied Electrochemistry. – 2004. – V. 34, № 10. – P. 1071 – 1080.

4. Shao H.B. The cooperative effect of calcium ions and tartrate ions on the corrosion inhibition of pure aluminum in an alkaline solution / H.B. Shao, J.M. Wang, Z. Zhang et al. // Materials Chemistry and Physics. – 2003. – V. 77, № 2. – P. 305 – 309.

5. Коровин Н.В. Воздушно-алюминиевые источники тока / Н.В. Коровин, Б.В. Клейменов // Информост. – 2002. – № 6(24). – С. 62 – 65.

6. Alcoa and Phinergy enter joint development agreement for high energy-density aluminum-air batteries [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.greencarcongress.com/2014/02/20140205-alcoa.html.

7. Лукащук Т.С. Исследование влияния состава солевых электролитов на коррозионное и анодное поведение алюминия / Т.С. Лукащук, В.И. Ларин // Вісник Харківського національного університету. – 2008. – № 820. – Хімія, Вип. 16(39). – С. 328 – 331.

8. Шепеленко О. Квантово-хімічна інтерпретація здатності ди(триалкіламіно)заміщених подандів інгібувати корозію алюмінію / О. Шепеленко, М. Сахненко, К. Якуба // Вісник Львівського університету. Серія хімічна. – 2012. – Випуск 53. – С. 369–372.

9. Розенфельд И.Л. Ингибиторы коррозии / И.Л. Розенфельд. – М. : Химия, 1977. – 352 с.

10. Антропов Л. И. Ингибиторы коррозии металлов / Л. И. Антропов, Е. М. Макушин, В. Ф. Панасенко. – Киев : Техніка, 1981. – 183 с.

11. Романенков А. А. Электрохимическое растворение алюминия в щелочных электролитах с добавками ингибиторов [Електронний ресурс] / А. А. Романенков. – Режим доступу : http://dspace.univer.kharkov.ua/handle/123456789/3871.

12. Слєта Л.О. Квантова хімія / Л.О. Слєта, В.В. Іванов. – Харків : Гімназія, 2008. – 443 с.

13. Похмурський В. Інгібування корозії свіжоутвореної поверхні дюралюмінію рамноліпідним біокомплексом / В. Похмурський, І. Зінь, О. Карпенко та ін. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. “Проблеми корозії та протикорозійного захисту”. Спец. випуск. – 2016. – № 11. – С. 217 – 223.

References

1. Mori R. Electrochemical properties of a rechargeable aluminium-air battery with a metal-organic framework as air cathode material / R. Mori // Royal Society of Chemistry Advances. – 2017. – Issue 7. – P. 6389 – 6395.

2. Mori R. Semi-rechargeable aluminium-air battery with a TiO_2 internal layer with plain salt water as an electrolyte / R. Mori // Journal of Electronic Materials. – 2016. – V. 45, Issue 7. – P. 3375 – 3382.

3. Zein El Abedin S. Electrochemical Behaviour of Al, Al-In and Al-Ga-In Alloys in Chloride Solutions Containing Zinc Ions / S. Zein El Abedin, F. Endres // Journal of Applied Electrochemistry. – 2004. – V. 34, Issue 10. – P. 1071 – 1080.

4. Shao H.B. The cooperative effect of calcium ions and tartrate ions on the corrosion inhibition of pure aluminum in an alkaline solution / H.B. Shao, J.M. Wang, Z. Zhang et al. // Materials Chemistry and Physics. – 2003. – V. 77, Issue 2. – P. 305 – 309.

5. Korovin N.V. Vozdushno-aliuminiievyie istochniki toka / N.V. Korovin, B.V. Kleymenov // Informost. – 2002. – Issue 6(24). – P. 62 – 65.

6. Alcoa and Phinergy enter joint development agreement for high energy-density aluminum-air batteries // Access mode: http://www.greencarcongress.com/2014/02/20140205-alcoa.html.

7. Lukashchuk T.S. Issledovaniie vliianiia sostava solievych elektrolitov na korrozionnoie i anodnoie povedeniie aliuminiia / T.S. Lukashchuk, V.I. Larin. – Visnyk Kharkivskogo natsionalnogo universytetu. – 2008. – № 820. – Chemistry, Issue 16(39). – P. 328 – 331.

8. Shepelenko O. Kvantovo-chimichna interpretatsiia zdatnosti di(tryalkilamino)zamishchenych podandiv ingibuvaty koroziiu aliuminiiu / O. Shepelenko, M. Sachnenko, K. Yakuba // Visnyk Lvivskogo universytetu. Seriia chimichna. – 2012. – Issue 53. – P. 369 – 372.

9. Rozenfeld I.L. Ingibitory korrozii / I.L. Rozenfeld. – M.: Chimiia, 1977. – 352 p.

10. Antropov L.I. Ingibitory korrozii mietallov / L.I. Antropov, Ye.M. Makushkin, V.F. Panasienko. – Kiev: Technika, 1981. – 183 p.

11. Romanenkov A.A. Eliektrokhimicheskoie rastvorieniie aliuminiia v shchielochnych eliektrolitach s dobavkami ingibitorov // Access mode: http://dspace.univer.kharkov.ua/handle/123456789/3871.

12. Slieta L.O. Kvantova chimiia / L.O. Slieta, V.V. Ivanov. – Kharkiv: Gimnaziia, 2008. – 443 p.

13. Pochmurskiy V. Ingibuvannia korozii svizhoutvorenoi poverchni diuraliuminiiu ramnolipidnym biokompleksom / V. Pochmurskiy, I. Zin, O Karpenko et al // Fizyko-chimichna mechanika materialiv. “Problemy korozii ta protykoroziynogo zachystu”. Special Issue 11. – 2016. – P. 217 – 223.

Рецензія/Peer review : 26.02.2018 р. Надрукована/Printed :30.03.2018 р.
Рецензент: к.х.н., доц. Байдич Л.Е.

УДК 544.6:57+606:628

Л.С. ЗУБЧЕНКО, Є.В. КУЗЬМІНСЬКИЙ
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ БІОПЛІВКИ ЕЛЕКТРОХІМІЧНО-АКТИВНИХ МІКРООРГАНІЗМІВ В ФОТОБІОЕЛЕКТРОХІМІЧНІЙ СИСТЕМІ

Використання фотобіоелектрохімічних систем в процесах очищення стічних вод підприємств харчової промисловості дозволяє не лише досягнути високих показників очищення, а й одночасно отримувати енергоносії – водень або електроенергію. Процес формування електрохімічно-активної біоплівки має першочергове значення для подальшого ефективного функціонування фотобіоелектрохімічної системи. Представлену математична модель розроблено на основі кінетичного рівняння Міхаеліса-Ментен для процесу формування біоплівки, який включає почергову повну та часткову заміну поживного середовища за використання ацетату натрію як єдиного джерела вуглецю та енергії. Для досліджуваної асоціації електрохімічно-активних мікроорганізмів розраховано значення константи Міхаеліса-Ментен та максимальної швидкості споживання субстрату, які дорівнюють 152,9 мг ХСК/дм³ та 0,26 мгХСК/(мгХ·год) відповідно. На основі розробленої моделі проаналізовано процес росту біомаси електрохімічно-активних мікроорганізмів в процесі культивування. Побудовано залежність максимальної питомої густини струму від тривалості культивування на початковому етапі формування біоплівки на аноді фотобіоелектрохімічної системи та показано, що склад та концентрація поживного субстрату, а також алгоритм заміни анодного розчину, мають вплив на тривалість формування електрохімічно-активної біоплівки.

Ключові слова: стічні води, фотобіоелектрохімічна система, константа Міхаеліса-Ментен.

L.S. ZUBCHENKO, YE.V. KUZMINSKIY
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

MODELING OF ELECTROACTIVE BIOFILM FORMATION PROCESS IN PHOTOBIOELECTROCHEMICAL SYSTEM

The photobioelectrochemical systems as new devises can be used for hydrogen end electricity production with simultaneous wastewater treatment. The area of application is different organic wastewater treatment for example, agricultural and food industry wastewater. The productivity of the photobioelectrochemical systems depends on many factors, but the microbial composition of the electrochemically-active biofilm has the determinative influence on the system’s operation. The process of an electrochemically active biofilm formation has the leading importance for the further functioning of the photobioelectrochemical system. The mathematical model presented in this study, is developed on the basis of the Michaelis-Menten kinetic equation for the biofilm formation process in batch system. The biofilm formation process involved the alternation complete and partial replacement of the nutrient medium. Sodium acetate was used as the single source of carbon and energy for inhibition the fermentative microorganisms’ growth. The Michaelis-Menten constant and the maximum consumption rate for the association of electrochemically active microorganisms are determined. The values are equal 152.9 mg COD/ dm³ and 0.26 mg COD/ (mgX·h). The model allows prediction the electrochemically active microorganisms and methanogenic microorganisms growth characteristics during the start-up period of the biofilm formation in the photobioelectrochemical system. The dependence of the specific current density on the duration of cultivation at the initial stage of the anode biofilm formation in photobioelectrochemical system was calculated. it was shown that the composition and concentration of the nutrient substrate, as well as the anodic solution replacement algorithm, have a significant effect on the duration of the electrochemically active biofilm formation. These results demonstrated the possibility of the process management, during the electrochemically active biofilm formation.

Key words: wastewater, photobioelectrochemical system, Michaelis-Menten constant.

Вступ

Проблема забруднення навколишнього середовища наразі стоїть особливо гостро в великих містах, оскільки вони є осередками промислового виробництва та накопичення побутових відходів. Потрапляння неочищених чи недостатньо очищених стічних вод в навколишнє середовище становить велику загрозу для природних екосистем та здоров’я людей.

Стічні води підприємств харчової промисловості, зазвичай не містять особливо небезпечних для довкілля та людини забрудників, проте мають високі концентрації органічних речовин, які потрапляючи в навколишнє середовище спричинюють низку негативних ефектів. Водойми, в які надходять недостатньо очищені стічні води потерпають від евтрофікації, внаслідок розвитку великої кількості гетеротрофних організмів, які споживають органічні речовини забруднених стічних вод. Також починаються активні анаеробні процеси, які призводять до потрапляння в воду і повітря продуктів неповного окиснення органічних речовин, зокрема метану, сірководню, сполук азоту. Таким чином вода стає непридатною для господарського використання. Тому удосконалення методів очищення стічних вод харчової промисловості є одним з першорядних завдань.

Постановка завдання

Відходи, як побічний елемент виробничого процесу утворюються практично в усіх галузях промисловості, проте практично завжди є небажаними, оскільки ефективна їх утилізація та знешкодження потребують значних капіталовкладень. Тому, серед можливих методів знешкодження чи переробки варто обирати той, який дозволяє максимально вилучити залишкові енергетичні або сировинні ресурси задля їх подальшого використання на підприємстві або реалізації на ринку вторинної сировини. Зокрема, використання біоелектрохімічних та фотобіоелектрохімічних систем (ФБЕХС) дозволяє не лише вилучати органічні забруднення з води, а і одночасно отримувати високоефективний енергоносій – водень.

Важливим, якщо не визначальним, елементом фотобіоелектрохімічних систем є біоплівка, утворена на аноді електрохімічно-активними мікроорганізмами. Дослідження та моделювання процесу формування електрохімічно-активної біоплівки є надзвичайно важливими питаннями для розуміння шляхів збільшення

продуктивності ФБЕХС.

Математичне моделювання процесів, що відбуваються в біоелектрохімічних системах є складною та багатогранною проблемою через ряд труднощів, пов'язаних з електрохімічними процесами, що відбуваються в системі, особливостями функціонування біологічної складової, конструктивними особливостями систем. Тобто, продуктивність системи залежить від її конструкції, складу та кількості біомаси, швидкості біохімічних реакцій окиснення субстрату мікроорганізмами та електрохімічних реакцій, що відбуваються на електродах. Крім того, суттєвий вплив мають різного роду втрати, які виникають в системі, і залежать від конструкції та матеріалів, складу розчинів та інших факторів.

В провідних світових дослідженнях з даної тематики зазвичай розглядають функціонування біоплівки після початкового етапу формування, такі моделі є важливим з точки зору розуміння принципу роботи системи, але приймають біологічну складову як стабільний незмінний фактор з наперед заданими характеристиками (швидкість споживання субстрату, швидкість росту та відмирання, видовий склад).

Тому, метою роботи було моделювання процесу формування біоплівки електрохімічно-активних мікроорганізмів на початковому етапі. Отримані математичні залежності можуть лягти в основу розробки методик формування біоплівки з заданими властивостями і складом задля підвищення продуктивності біоелектрохімічних та фотобіоелектрохімічних систем та зменшення тривалості формування електрохімічно-активної біоплівки.

Аналіз досліджень в області моделювання процесів росту електрохімічно-активних мікроорганізмів

Незважаючи на те, що процеси росту мікроорганізмів в біоплівці мають ряд особливостей, що відрізняють їх від звичайного розвитку популяції, в загальних рисах вони, все ж таки можуть бути описані загальноприйнятими моделями розвитку популяції мікроорганізмів.

Однією з перших і найпростіших моделей розвитку популяції вважають модель, розроблену Томасом Робертом Мальтусом (1798 р.), яка описує залежність кількості біомаси в певний момент часу від початкової кількості як лінійну:

$$\Delta N = \mu N_1 \Delta t \text{ або } N = N_1 \cdot e^{\mu t}, \quad (1)$$

де N_1 – початкова кількість мікроорганізмів в популяції;

t – тривалість росту;

μ – питома швидкість росту мікроорганізмів.

Згідно з моделлю Мальтуса ріст мікроорганізмів залежить від питомої швидкості росту за умови сталості концентрацій поживних речовин і біомаси [1]. Тобто така модель є прийнятною для опису росту біомаси в безперервних системах (реакторах) проточного типу.

Проте не у всіх системах, особливо природних, можливо підтримувати концентрації субстрату і біомаси постійними. З часом, якщо не відбувається постійне поновлення, то кількість субстрату зменшується, а кількість біомаси збільшується, тому починається конкуренція за поживний субстрат між особинами одного виду, а іноді і міжвидова конкуренція. Модель П.Ф. Фергюльста, розроблена у 1845 р., враховує коефіцієнт конкуренції за поживний субстрат, яка з'являється зі збільшенням кількості біомаси та виснаженням субстрату і має вигляд [1]:

$$\Delta X = \mu \Delta t - \beta X^2 \Delta t \quad \text{або} \quad \frac{dx}{dt} = \mu X - \beta X^2, \quad (2)$$

де X – концентрація біомаси;

ΔX – приріст біомаси;

μ – питома швидкість росту мікроорганізмів, яка є сталою величиною;

β – коефіцієнт внутрішньовидової конкуренції.

Найбільш вживаним рівнянням, яке використовують для моделювання процесів росту мікроорганізмів, є кінетичне рівняння Ж. Моно (1942 р.), яке отримане на основі кінетичного рівняння Міхаеліса–Ментен. Це рівняння росту біомаси в залежності від концентрації поживного субстрату відображає кінетику споживання субстрату і росту мікробної популяції [1]:

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_s + S}, \quad (3)$$

де μ –швидкість росту мікроорганізмів;

$\mu_{\max}$ – максимально можлива питома швидкість росту мікроорганізмів;

S – концентрація субстрату;

K_s – концентрація субстрату при якій швидкість росту дорівнює половині від максимальної;

В свою чергу, швидкість споживання субстрату мікроорганізмами також описують рівнянням Міхаеліса-Ментен:

$$q = q_{\max} \frac{S}{K_s + S}, \quad (4)$$

де q – швидкість росту мікроорганізмів.

$q_{\max}$ – максимально можлива питома швидкість росту мікроорганізмів.

S – концентрація субстрату;

K_S – концентрація субстрату при якій швидкість споживання субстрату дорівнює половині від максимальної.

Мікроорганізми, що формують біоплівку, підпорядковуються тим самим законам, що і будь-яка популяція мікроорганізмів, проте структура біоплівки вносить і свої особливості. Так, велике значення має доступність компонентів поживного середовища для клітин мікроорганізмів біоплівки, яка залежить від процесів дифузії в приграничному шарі рідина-біоплівка, а також у товщі самої біоплівки.

Через іммобілізований стан і неможливість переміщуватися в об'ємі рідини, великого значення набувають міжвидові взаємодії (для гетерогенних популяцій), оскільки клітини мікроорганізмів, іммобілізовані поряд, на носії, впливають одна на одну як конкуренти за субстрат і продуценти певних метаболітів, які можуть чинити інгібуючий чи активуючий вплив або бути поживним субстратом для інших організмів. Необхідним також є врахування віку біоплівки, оскільки з часом відбувається не лише збільшення, але й обов'язкове відмирання певної кількості мікроорганізмів, при чому в гетерогенних біоплівках з часом співвідношення різних груп мікроорганізмів змінюється в залежності від умов. Тому, при побудові математичних моделей біоплівок, обов'язковим є врахування коефіцієнту відмирання [2].

Найперші моделі, які описували ріст популяцій у вигляді біоплівки були відносно простими: по всій товщі біоплівка вважалася однорідною, а зміна концентрації субстрату враховувалася лише в напрямку, перпендикулярному поверхні біоплівки, не враховуючи дифузію в товщу самої плівки. Досліджували швидкість споживання субстрату і загальну кількість накопиченої біомаси [3, 4].

В подальшому математичне моделювання почали використовувати для опису процесів росту біоплівки в залежності від видів мікроорганізмів, з яких вона сформована та типу і концентрації субстрату та вихідних метаболітів, а також для визначення просторової структури та організації біоплівки, опис її двовимірної та тривимірної морфології. Згодом багатошарова структура біоплівки та процеси, які відбувається при її утворенні та функціонуванні, виокремилися в самостійний напрямок досліджень [3].

Моделювання процесів, що відбуваються в біоелектрохімічних системах окрім споживання субстрату мікроорганізмами та процесів росту, включає ще і електрохімічну складову, яка описує процеси генерування струму, перенесення електронів і утворення молекул водню. Математичні моделі, які описують процеси, що відбуваються в БЕХС розроблялися Маркусом і Рітманом(процес перенесення електронів) [5], та Зенгом і ін. (процес генерування напруги) [6]. У вищенаведених моделях біоплівка описується, як гомогенна, тобто не враховується можливість присутності у ній мікроорганізмів, які не мають екзоелектрогенної здатності [3].

Проте, у випадку використання БЕХС для очищення стічних вод доцільно використовувати саме змішані асоціації мікроорганізмів, оскільки стічна вода містить велику кількість органічних і неорганічних речовин різного складу, співвідношення яких не є сталим і постійно змінюється, що вимагає від мікроорганізмів здатності пристосовуватися до таких коливань в широких межах. Такої гнучкості асоціації мікроорганізмів по відношенню до складу поживного субстрату можна досягнути при використанні змішаних асоціацій мікроорганізмів.

Пісіоренау зі співавторами [7] розроблена математична модель, що враховує склад біоплівки, тобто наявність у ній як мікроорганізмів-електрогенів, так і неелектрогенів (дозволяє проаналізувати процес формування біоплівки і види мікроорганізмів, що в ній присутні). Ця тривимірна модель, яка описується рівняннями в часткових похідних, дає можливість змоделювати процеси, що відбуваються на аноді БЕХС, проте є досить складною.

Базуючись на кінетичному рівнянні Моно та моделі, розробленій Бернардом [8], Пінто [2] зі співавторами запропонована, математична модель, що враховує присутність в анодній біоплівці різних видів мікроорганізмів, з різними метаболічними властивостями.

Процес споживання та перетворення субстрату угрупованням мікроорганізмів на аноді МПЕ включає багато послідовних реакцій, що здійснюються різними мікроорганізмами. В таких реакціях, кінцеві метаболіти однієї групи мікроорганізмів споживаються іншими. Так, біоплівка, що утворена змішаною культурою мікроорганізмів, виділеною з анаеробного активного мулу станцій водоочищення, матиме три основні групи мікроорганізмів: ацитогенні, метаногенні та екзоелектрогенні (електрохімічно-активні) мікроорганізми. Ацитогенні мікроорганізми – це мікроорганізми, що здійснюють анаеробну ферментацію складних органічних сполук до простіших (глюкозу і сахарозу перетворюють у декілька стадій на оцтову кислоту і водень, через валеріанову пропіонову, бутилову та ін., жири на жирні кислоти, білки на пептиди та амінокислоти). Метаногенні і екзоелектрогенні є фактично конкурентами за оцтову кислоту, утворену першою групою мікроорганізмів. Кожна група мікроорганізмів включає багато різних видів зі схожими метаболічними шляхами.

Моделювання усіх реакцій перетворення поживного субстрату, що здійснюється усіма мікроорганізмами, присутніми в угрупуванні це дуже складний і трудомісткий процес, тому для спрощення моделі доцільно об'єднати кілька реакцій метаболізму в один етап (розділити усі реакції на основні етапи), а метаболічну поведінку кожної групи змоделювати на прикладі одного або кількох родів (представників) [2].

Для біоелектрохімічних систем математична модель зазвичай включає рівняння масового балансу

для субстрату, рівняння масового балансу для біомаси та рівняння, що описує баланс зарядів.

Рівняння масового балансу по субстрату для асоціації мікроорганізмів, ка включає електрохімічно-активні мікроорганізми та метаногени [2]:

$$\frac{dS}{dt} = D(S_0 - S) - q_e x_e - q_m x_m \,. \tag{5}$$

Рівняння масового балансу для біомаси електрохімічно-активних мікроорганізмів:

$$\frac{dx_e}{dt} = \mu_e x_e - K_{d,e} - \alpha_1 x_e \,, \tag{6}$$

метаногенних мікроорганізмів:

$$\frac{dx_m}{dt} = \mu_m x_m - K_{d,\mathrm{m}} - \alpha_1 x_m \,, \tag{7}$$

де D – коефіцієнт дифузії субстрату в товщу біоплівки;

S_0, S – концентрації субчтрату початкова та кінцева відповідно;

μ_e,μ_m, q_e, q_m – швидкості ростута швидкості споживання субстрату та коефіцієнти відмирання для електрохімічно-активних та метаногенних мікроорганізмів;

x_e ,x_m – маса клітин електрохімічно-активних та метаногенних мікроорганізмів;

$K_{d,e}$, $K_{d,m}$– коефіцієнти відмирання для електрохімічно-активних та метаногенних мікроорганізмів.

Якщо, $x_e + x_m \geq X_{\max,1}$, то:

$$\alpha_1 = \frac{(\mu_e - K_{d,e})x_e + (\mu_m - K_{d,m})x_m}{(\mathrm{x}_e + \mathrm{x}_m)} \,. \tag{8}$$

В іншому випадку: $\alpha_1 = 0$.

Для медіаторних біоелектрохімічних систем для визначення сили струму, що генерується системою враховують концентрацію переносників заряду – медіаторів:

$$M_{заг} = M_{ок} + M_{від}$$

$$\frac{dM_{від}}{dt} = -Y_M q_e + \frac{\gamma}{V x_e} \frac{I_{БЕХС}}{mF} \,. \tag{9}$$

Тоді в загальному випадку максимальна швидкість росту та максимальна швидкість споживання субстрату для електрохімічно-активних мікроорганізмів розраховується за формулами:

$$\mu_e = \mu_{\max,e} \frac{S}{K_{S,e} + S} \frac{M_{ок}}{K_M + M_{ок}} \,, \tag{10}$$

$$q_e = q_{\max,e} \frac{S}{K_{S,e} + S} \frac{M_{ок}}{K_M + M_{ок}} \,, \tag{11}$$

де $\mu_{\max}$ – максимальна швидкість росту;

$q_{\max}$ – максимальна швидкість споживання субстрату;

K_S – константа Міхаеліса – концентрація субстрату при якій швидкість споживання дорівнює половині максимальної швидкості;

$M_{заг}, M_{ок}, M_{від}$ – загальна концентрація медіаторів, концентрація окисненого та відновленого медіатора відповідно.

При відсутності в системі медіаторів, рівняння (10) та (11) використовуються у вигляді (3) і (4).

Сила струму, яка генерується електрохімічно-активними мікроорганізмами, та додаткова напруга від фотоелектрохімічного елемента є додатковим селективним фактором, який пригнічує розвиток інших груп мікроорганізмів. В такому випадку рівняння кінетики росту метаногенних мікроорганізмів набуває вигляду [3, с. 44]:

$$\mu_m = \mu_{\max,m} \frac{S}{K_{S,m} + S} \frac{K_i}{K_i + I} \,, \tag{12}$$

де K_i – константа швидкості реакції, коли концентрація інгібуючого фактору дорівнює половині від максимальної;

I – концентрація інгібуючого фактору.

Формулювання цілей

Як уже зазначалося, метою роботи була побудова математичної моделі процесу формування біоплівки електрохімічно-активних мікроорганізмів на аноді фотобіоелектрохімічної системи на основі

рівняння Міхаеліса-Ментен.

Для вищезазначеної моделі необхідно, на основі експериментальних даних визначити константи швидкості споживання субстрату – Константи Міхаеліса, для біоплівки, сформованої в фотобіоелектрохімічній системі за використання ацетату натрію як джерела живлення та фотоелектрохімічного кремнієвого елемента, як джерела додаткової енергії.

Об'єктом є процес формування біоплівки шляхом почергових повних та часткових замін поживного середовища [9], в безмедіаторній фотобіоелектрохімічній системі з періодичним режимом культивування.

Моделювання процесу формування біоплівки має ряд труднощів, перш за все пов'язаних з тим, що в безмедіаторних системах основний вклад в формування струму вносять мікроорганізми, які розвиваються у вигляді біоплівки за рахунок прямого перенесення електронів на анод, а клітини електрохімічно-активних мікроорганізмів, що знаходяться в об'ємі анодного розчину в суспендованому стані, або взагалі не впливають на генерування струму, або незначно впливають за рахунок власних медіаторів.

Більшість моделей, описаних в літературі, побудовані для проточних систем в яких присутні медіатори, тому кількість біомаси в них розраховується на об'єм рідини, а не на площу поверхні електрода і завжди передбачає стартовий період в межах 15–35 діб.

Одним з завдань дослідження була розробка моделі, яка дозволяє розглянути процеси, які відбуваються якраз в стартовий період, крім того дає основу для розробки оптимального алгоритму формування біоплівки задля скорочення тривалості цього процесу.

Як джерело мікроорганізмів використовували анаеробний активний мул. Як джерело вуглецю використовували ацетат натрію, оскільки він є кінцевим метаболітом ацидогенних мікроорганізмів і не може бути поживним субстратом для цієї групи, яка широко представлена в активному мулі. Як джерело вуглецю його здатні використовувати тільки метаногени і електрохімічно-активні мікроорганізми, тому процес росту саме цих двох груп мікроорганізмів врахований в запропонованій моделі.

Функцією відгуку системи обрано питому густину струму, що генерується в процесі формування біоплівки електрохімічно-активних мікроорганізмів.

В запропонованій моделі ФБЕХС описана як безмедіаторна, оскільки штучні медіатори не додавалися, а через відсутність механічного перемішування дифузія власних медіаторів, які синтезують клітини суспендованих електрохімічно-активних мікроорганізмів ускладнена і відбувається дуже повільно, тому основний вклад в генерування сили стриму в ФБЕХС вносять мікроорганізми анодної біоплівки.

Результати та обговорення

Константу Міхаеліса розраховували на основі експериментальних даних для біоплівки мікроорганізмів екзоелектрогенів не враховуючи присутність інших груп мікроорганізмів. Враховуючи умови формування біоплівки (методика формування біоплівки наведена в [9]) та час роботи фотобіоелектрохімічної системи (більше 5 місяців з незмінним джерелом живлення – ацетатом натрію), прийняли склад біоплівки монокомпонентним, оскільки мікроорганізми інших груп містяться в ній в такай незначній кількості, що не можуть значно вплинути на швидкість споживання субстрату. Експеримент проводили в трьох повторностях.

Концентрацію біомаси в біоплівці вважали сталою, оскільки дослідження проводили після завершення етапу формування біоплівки, тому швидкість наростання біомаси приблизно зрівноважена зі швидкістю відмирання і концентрація активної біомаси (тої яка вносить вклад в формування струму) є відносно незмінною. Маса мікроорганізмів на анодах фотобіоелектрохімічної системи становила 26,7±1,66 мг. Відхилення маси знаходиться в межах надійного інтервалу для надійної ймовірності 95%. Ця маса також визначена як максимальна можлива маса мікроорганізмів біоплівки для системи, що досліджувалася.

Константу Міхаеліса визначали використовуючи лінеаризовану форму рівняння кінетики ферментативних реакцій – рівняння Лайнуівера – Берка:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{\max,e}} + \frac{K_{s,e}}{q_{\max,e}} \frac{1}{S}, \qquad (13)$$

де $q_{\max,e}$ – максимальна швидкість споживання субстрату електрохімічно-активними мікроорганізмами;

$K_{s,e}$ – константа Міхаеліса для електрохімічно-активних мікроорганізмів;

q_e – швидкість споживання субстрату, для певної його концентрації.

Для побудови графіка Лайнуівера-Берка використовували дані про швидкість споживання субстрату на основі зменшення значення ХСК анодного розчину. Єдиним джерелом вуглецю і енергії був ацетат натрію, концентрація якого по ХСК становила 1200 мг O_2/дм^3. На основі даних про швидкість споживання субстрату асоціацією електрохімічно-активних мікроорганізмів побудували графік Лайнуівера-Берка (рис. 1) та визначили коефіцієнти в рівнянні.

З рівняння Лайнуівера-Берка максимальна швидкість споживання субстрату мікроорганізмами біоплівки становить $q_{max,e}$= 0,26 мгХСК/(мгХгод), константа Міхаеліса, яка дорівнює концентрації субстрату в момент, коли швидкість дорівнює половині від максимальної становить $K_{s,e}$ = 152,9 мг ХСК/дм^3. Розраховані значення константи Міхаелісата максимальної швидкості споживання субстрату близькі до

наведених в літературі даних [13] для змішаних культур електрохімічно-активних мікроорганізмів

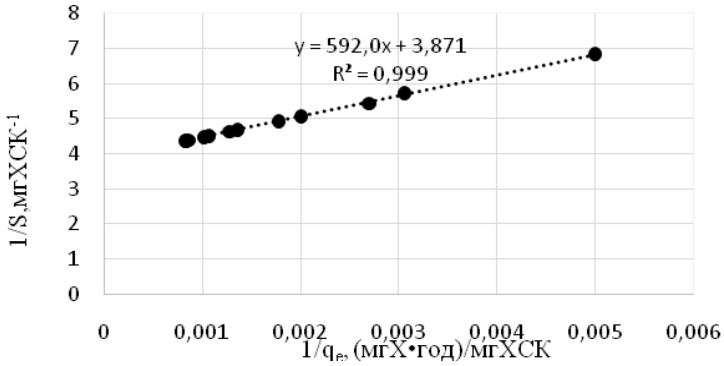


Рис. 1. Графік Лайнуівера-Берка для асоціації електрохімічно-активних мікроорганізмів

Адекватність отриманого рівняння перевірено за критерієм Фішера і встановлено відповідність рівняння експериментальним даним.

Для опису процесу формування біоплівки електрохімічно-активних мікроорганізмів використовували рівняння (3–8, 12).

Відповідно до літературних даних, не всі електрохімічно-активні мікроорганізми, присутні в активному мулі здатні брати участь у формуванні біоплівки на аноді біоелектрохімічної системи. З цієї причини внесок таких мікроорганізмів у формування анодного струму буде значимим лише при додаванні штучних медіаторів та активному перемішуванні анодного розчину. Тому в моделі враховано наявність електрохімічно-активних мікроорганізмів, які присутні в анодній камері є активними споживачами субстрату, проте не мають значного впливу на силу струму в системі.

Маса біомаси мікроорганізмів різних груп ($X_{e,tot}$, $X_{e,act}$, $X_{e,sus}$, X_m), яка розрахована на основі досліджень складу анодної біоплівки та осадів стічних вод,з літературних джерел [10, 11]. Загальна максимальна маса біоплівки мікроорганізмів на електроді ФБЕХС (X_{max}) прийнята на основі експериментальних даних. Окремо розрахована маса електрохімічно-активних мікроорганізмів, які розвиваються у вигляді біоплівки на аноді ФБЕХС та суспендованої біомаси електрохімічно-активних мікроорганізмів.

Для метаногенних мікроорганізмів, при розрахунку швидкості росту, враховано інгібуючу дію струму, що генерується електрохімічно-активними мікроорганізмами в ФБЕХС. Значення інгібуючого параметру розраховано по [14].

Параметри, які використовували для моделювання наведені в таблиці 1. Метод формування біоплівки передбачає почергові повні та часткові заміни анодного розчину, переваги такого методу розглянуті в попередніх наших дослідженнях [9]. З огляду на це важливим моментом для моделі процесу формування є те, що після часткової заміни поживного середовища, частина суспендованої біомаси залишається в реакторі, і в певній мірі може брати участь у формуванні електрохімічно-активної біоплівки, що підвищує швидкість її наростання. Крім того, в системах без перемішування, заміна поживного середовища сприяє інтенсифікації масообміну в анодній камері, що позитивно позначається на генеруванні струму, зокрема після заміни поживного середовища спостерігається різке та зачне підвищення сили струму, що ймовірно пов'язано з діяльністю електрохімічно-активних мікроорганізмів, які знаходяться у суспендованому стані.

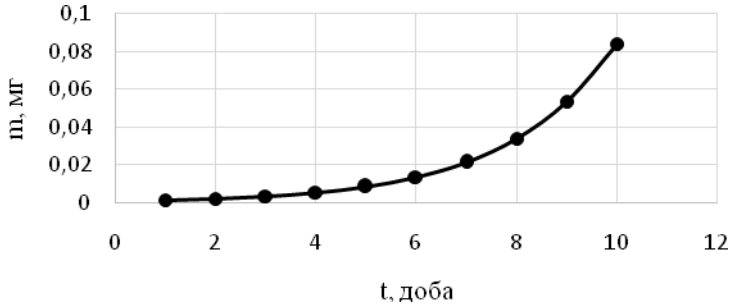


Рис. 2. Залежність маси електрохімічно-активних мікроорганізмів від тривалості культивування на початковому етапі формування біоплівки

Відповідно до побудованої моделі з першого дня інокуляції відбувається поступове і стабільне збільшення кількості електрохімічно-активних мікроорганізмів, які ростуть у вигляді біоплівки на аноді ФБЕХС (рис. 2).

Збільшення кількості біомаси електрохімічно-активних мікроорганізмів в біоплівці на початковому етапі відбувається дуже повільно, що пов'язано з дуже незначною кількістю активних клітин. Проте на 17-18 добу формування (рис. 3) біоплівки накопичена

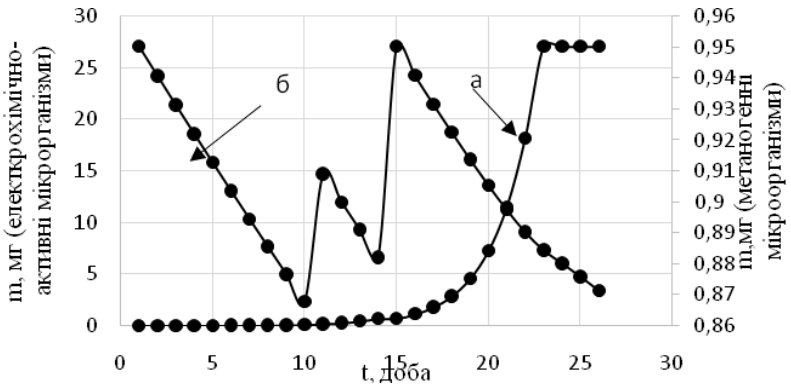


Рис. 3. Залежність маси електрохімічно-активних мікроорганізмів (а) та метаногенних (б) мікроорганізмів від тривалості культивування в процесі формування біоплівки на аноді фотобіоелектрохімічноїсистеми (з 9 доби культивування)

біомаса клітин досягає маси приблизно близько – 1 мг. Протягом всього часу культивування спостерігається відмирання метаногенних мікроорганізмів, які потрапили в систему з анаеробним активним мулом, що використовували як інокулят.

Таблиця 1

Параметри, які використані при моделюванні генерування сили струму в процесі формування біоплівки електрохімічно-активних мікроорганізмів

Параметр	Значення	Примітка	Одиниці вимірювання
$q_{max,\,e}$	0,26 (6,2)	Максимальна швидкість споживання субстрату електрохімічно-активними мікроорганізмами для ацетату, (по ХСК)	мгХСК/(мгХ·год), мгХСК/(мгХ·доба)
$\mu_{max,\,e}$	0,03 (0,72)	Максимальна швидкість росту електрохімічно-активних мікроорганізмів [10]	год$^{-1}$, (діб$^{-1}$)
$q_{max,\,m}$	3,53 (84,8)	Максимальна швидкість споживання субстрату метаногенами для ацетату, (по ХСК) (оцінено за [3])	мгХСК/(мгХ·год), мгХСК/(мгХ·доба)
$\mu_{max,\,m}$	0,0125 (0,3)	Максимальна швидкість росту метаногенних мікроорганізмів (оцінено за [3])	год$^{-1}$, (діб$^{-1}$)
X	10	Маса сухої речовини активного мулу, еквівалентна взятій для інокуляції	г
$X_{e,\,tot}$	0,77	Загальна маса електрохімічно-активних мікроорганізмів в інокуляті, (розраховано за [10, 12])	мг
$X_{e,\,act}$	0,0013	Маса електрохімічно-активних мікроорганізмів в інокуляті, що здатні до формування біоплівки, (розраховано за [10])	мг
X_m	0,95	Загальна маса метаногенів в інокуляті, (розраховано за [11])	мг
X_{max}	27	Максимально можлива маса біоплівки на аноді ФБЕХС	мг
$K_{s,e}$	152,9	КонстантаМіхаеліса для електрохімічно- активних мікроорганізмів	мг ХСК/дм^3
$K_{s,m}$	84,8	Константа Міхаеліса для метаногенних мікроорганізмів (оцінено за [3])	мг ХСК/дм^3
$K_{d,e}$	0,04	Коефіцієнт відмирання для електрохімічно-активних мікроорганізмів	доба$^{-1}$
$K_{d,m}$	0,01	Коефіцієнт відмирання для метаногенних мікроорганізмів	доба$^{-1}$

В процесі формування біоплівки експериментальним шляхом важко отримати інформацію про склад та кількість мікроорганізмів біоплівки не пошкодивши її, тому важливим є встановлення зв'язку між параметрами росту мікроорганізмів та електрохімічними характеристиками БЕХС чи ФБЕХС. Тому можливість на основі значень сили струму чи напруги ФБЕХС охарактеризувати її біологічну складову видається надзвичайно привабливою. Зрозуміло, що важливе значення для продуктивності системи по струму мають не лише швидкість росту мікроорганізмів та особливості споживання субстрату, а й електрохімічна складова, конструкція системи, матеріали, що використовувалися, проте саме якість біоплівки є тим параметром, регулювання якого є складним і тривалим процесом.

На основі розрахунків кількості субстрату, спожитого саме електрохімічно-активними мікроорганізмами, що розвиваються у вигляді біоплівки на аноді, за добу, за законом Фарадея розраховували теоретичне значення заряду, згенерованого на аноді біоелектрохімічної системи при окисненні субстрату:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{zF}{M_s}\int_{t_1}^{t_2} S dt\,, \tag{14}$$

та середньодобове значення питомої густини електричного струму j. Кулонівську ефективність приймали за 0,4.

I – сила струму, що генерується в біоелектрохімічній системі;

t – тривалість культивування;

z – кількість електронів, яка генерується при окисненні одного моля субстрату;

F – стала Фарадея;

M_s – молярна маса субстрату;

S – маса субстрату спожита мікроорганізмами за час t.

На рис 4. представлена залежність питомої густини струму від тривалості культивування.

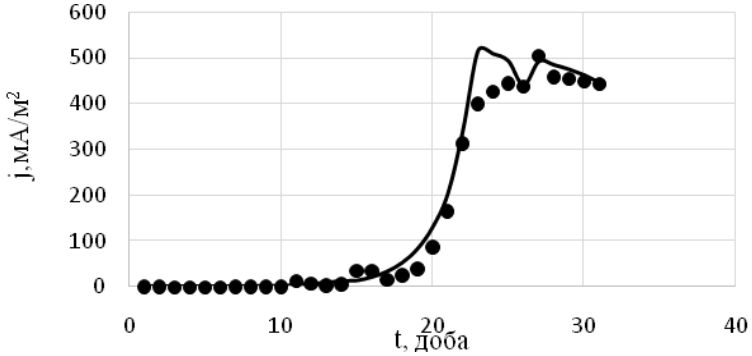


Рис. 4. Залежність питомої густини струму від тривалості культивування під час формування біоплівки електрохімічно-активних мікроорганізмів (лінією позначено розраховані значення густини струму, точки – експериментальні дані)

В процесі формування біоплівки електрохімічно-активних мікроорганізмів на аноді ФБЕХС спостерігалося поступове збільшення густини струму. Значиме збільшення питомої густини струму отримали вже на 5-6 добу – 0,15 мА/м^2. Після першої часткової заміни анодного розчину відбувається поступове збільшення питомої сили струму до 11,9 мА/м^2. Моделювання показує, що використання повної, а не часткової заміни анодного розчину на даному етапі формування біоплівки призвело б до підвищення питомої густини струму до з значень 4-6 мА/м^2, що вказує на більшу ефективність саме методики почергових повних і часткових замін поживного середовища в анодній камері перед традиційною методикою.

Після двадцятої доби культивування густина потужності починає різко зростати, що пов'язане з накопиченням великої кількості біомаси клітин електрохімічно-активних мікроорганізмів, кожен наступний поділ яких призводить до значного збільшення сили струму в системі. Вихід на плато значень густини струму свідчить про досягнення максимально можливої маси клітин електрохімічно-активних мікроорганізмів в біоплівці та досягнення ними швидкості споживання субстрату близької до максимальної. Різниця між експериментальними даними та розрахованими зумовлена імовірно зменшенням швидкості дифузії в товщу біоплівки, або збільшенням омічних та концентраційних втрат, що виникають також зі збільшенням товщини біоплівки.

Висновки

Для досліджуваної асоціації електрохімічно-активних мікроорганізмів розраховано значення константи Міхаеліса-Ментен та максимальної швидкості споживання субстрату, які дорівнюють 152,9 мг ХСК/дм^3 та 0,26 мгХСК/(мгХ·год) відповідно.

Розроблена математична модель процесу формування біоплівки електрохімічно-активних мікроорганізмів, яка дозволяє розрахувати густину струму, яка генерується електрохімічно-активними мікроорганізмами анодної біоплівки під час процесу її формування.

Використання запропонованої математичної моделі для розрахунків параметрів системи (швидкості споживання субстрату, швидкості росту мікроорганізмів), як на етапі формування біоплівки, так і під час стаціонарного використання БЕХС та ФБЕХС дозволить усвідомлено керувати системою на випередження.

Зокрема, при стаціонарній роботі БЕХС використання моделювання дає можливість:

- при відомій вихідній концентрації субстрату та біомаси визначити час додавання нової порції субстрату для зменшення втрат потужності системи через зниження швидкості споживання субстрату;
- визначити концентрацію субстрату, при якій ефективність видалення ХСК та продуктивність по струму буде максимальною;
- визначити максимальну теоретичну потужність фотобіоелектрохімічної системи.

Для процесу формування біоплівки за допомогою моделювання можливо:

- визначити межу, коли додавання свіжого посівного матеріалу стає не значимим для процесу формування біоплівки
- визначати кількість біомаси та швидкість споживання субстрату в певний момент часу, що є важливим для оцінки параметрів процесу формування біоплівки, а також силу струму в системі.

Література

1. Сидоров Ю. І. Використання рівняння Монодля ітераційного розрахунку періодичних процесів ферментації / Ю. І. Сидоров //Біотехнологія. – 2010. – Т. 3. – № 1. – С. 62–66.

2. PintoR. P. Aunifiedmodelforelectricityandhydrogenproductioninmicrobialelectrochemicalcells / R. P. Pinto, B. Srinivasan, B. Tartakovsky // Preprints of the 18th IFAC World Congress. – Milano, Italy. – 2011. – P. 5046–5051.

3. WannerO. Mathematical Modeling of Biofilms / O. Wanner, H. J. Eberl, E. Morgenroth, D. R. Noguera, C. Picioreanu, B. E. Rittmann, M. C. M. van Loosdrecht. – London : IWA Publishing, 2006. – 178 p.

4. Williamson K. A model of substrate utilization by bacterial films / K. Williamson, P.L. McCarty // J.

Water Pollut. Control Fed. – 1976. – 48(1). – P. 9 – 24.

5. Marcus A. K. Conduction-based modeling of the biofilm anode of a microbial fuel cell / A. K. Marcus, C. I. Torres, B. E. Rittmann//Biotechnology and Bioengineering. – 2007. – 98(6). – P. 1171–1182.

6. Zhang X. C. Modelling of a microbial fuel cell process / X. C. Zhang, A.Halme // Biotechnology Letters. – 1995. – 17(8). – P. 809 – 814.

7. Picioreanu C. A computational model for biofilm-based microbial fuel cells / C. Picioreanu, I. M. Head, K. P. Katuri, M. C. M. van Loosdrecht, K. Scott // Water Research. – 2007. – 41(13). – P. 2921–2940.

8. Bernard O. P. Dynamical model development and parameter identification for an anaerobic wastewater treatment process / O.Bernard, Z. Hadj-Sadok, D. Dochain, A. Genovesi, J. P. Steyer // Biotechnology and Bioengineering. – 2001. – № 75(4). – P. 424–438.

9. 9 Zubchenko L. Characteristics of biofilm formation process in the bioelectrochemical systems, working in batch-mode of cultivation / L. Zubchenko, Ye. Kuzminskiy // Chem. Chem. Technol. – 2017. – Vol. 11. – №. 1. – P. 105–110.

10. Heidrich E. S. Quantification of effective exoelectrogens by most probable number (MPN) in a microbial fuel cell / E. S. Heidrich, T. P. Curtis, S. Woodcock, J. Dolfing // Bioresource Technology. – 2016. – № 218. – P. 27–30.

11. Świątczak P. Microbiota of anaerobic digesters in a full-scale wastewater treatment plant / P. Świątczak, A. Cydzik-Kwiatkowska, P. Rusanowska // Archives of Environmental Protection. – 2017. – Vol. 43. – № 3. – P. 53–60.

12. Yang Z.C. Rapid detection and enumeration of exoelectrogenic bacteria in lake sediments and a wastewater treatment plant using a coupled WO_3 nanoclusters and most probable number method / Z. C. Yang, Y. Y. Cheng, F. Zhang, B. B. Li, Y. Mu, W. W. Li, H. Q. Yu // Environ. Sci. Technol. Lett. – 2016. – № 3. – P. 133–137.

13. Watson V. J. Hydrogen production from continuous flow, microbial reverse-electrodialysis electrolysis cells treating fermentation wastewater / V. J. Watson, M.Hatzell, B. E. Logan // Bioresource Technology. – 2015. – № 195. – P. 51–56.

14. Pinto R. P. Dynamic Modelling and Optimisation of Microbial Fuel Cells and Microbial Electrolysis Cells: PhD thesis / Pinto Roberto Pires. – École Polytechnique de Montréal, 2011. – 180 p.

References

1. Sydorov Yu. I. Vykorystannia rivniannia Mono dlia iteratziynoh orozrahunku periodychnyh protzesiv fermentatzii / Yu.. I. Sydorov // Biotechnolohiya. – 2010. – T. 3. – № 1. – S. 62 –66.

2. PintoR. P. Aunifiedmodelforelectricityandhydrogenproductioninmicrobialelectrochemicalcells / R. P. Pinto, B. Srinivasan, B. Tartakovsky // Preprints of the 18th IFAC World Congress. – Milano, Italy. – 2011. – P. 5046–5051.

3. WannerO. Mathematical Modeling of Biofilms / O. Wanner, H. J. Eberl, E. Morgenroth, D. R. Noguera, C. Picioreanu, B. E. Rittmann, M. C. M. van Loosdrecht. – London : IWA Publishing, 2006. – 178 p.

4. Williamson K. A model of substrate utilization by bacterial films / K. Williamson, P.L. McCarty // J. Water Pollut. Control Fed. – 1976. – 48(1). – P. 9 – 24.

5. Marcus A. K. Conduction-based modeling of the biofilm anode of a microbial fuel cell / A. K. Marcus, C. I. Torres, B. E. Rittmann//Biotechnology and Bioengineering. – 2007. – 98(6). – P. 1171–1182.

6. Zhang X. C. Modelling of a microbial fuel cell process / X. C. Zhang, A.Halme // Biotechnology Letters. – 1995. – 17(8). – P. 809 – 814.

7. Picioreanu C. A computational model for biofilm-based microbial fuel cells / C. Picioreanu, I. M. Head, K. P. Katuri, M. C. M. van Loosdrecht, K. Scott // Water Research. – 2007. – 41(13). – P. 2921–2940.

8. Bernard O. P. Dynamical model development and parameter identification for an anaerobic wastewater treatment process / O.Bernard, Z. Hadj-Sadok, D. Dochain, A. Genovesi, J. P. Steyer // Biotechnology and Bioengineering. – 2001. – № 75(4). – P. 424–438.

9. Zubchenko L. Characteristics of biofilm formation process in the bioelectrochemical systems, working in batch-mode of cultivation / L. Zubchenko, Ye. Kuzminskiy // Chem. Chem. Technol. – 2017. – Vol. 11. – №. 1. – P. 105–110.

10. Heidrich E. S. Quantification of effective exoelectrogens by most probable number (MPN) in a microbial fuel cell / E. S. Heidrich, T. P. Curtis, S. Woodcock, J. Dolfing // Bioresource Technology. – 2016. – № 218. – P. 27–30.

11. Świątczak P. Microbiota of anaerobic digesters in a full-scale wastewater treatment plant / P. Świątczak, A. Cydzik-Kwiatkowska, P. Rusanowska // Archives of Environmental Protection. – 2017. – Vol. 43. – № 3. – P. 53–60.

12. Yang Z.C. Rapid detection and enumeration of exoelectrogenic bacteria in lake sediments and a wastewater treatment plant using a coupled WO_3 nanoclusters and most probable number method / Z. C. Yang, Y. Y. Cheng, F. Zhang, B. B. Li, Y. Mu, W. W. Li, H. Q. Yu // Environ. Sci. Technol. Lett. – 2016. – № 3. – P. 133–137.

13. Watson V. J. Hydrogen production from continuous flow, microbial reverse-electrodialysis electrolysis cells treating fermentation wastewater / V. J. Watson, M.Hatzell, B. E. Logan // Bioresource Technology. – 2015. – № 195. – P. 51–56.

14. Pinto R. P. Dynamic Modelling and Optimisation of Microbial Fuel Cells and Microbial Electrolysis Cells: PhD thesis / Pinto Roberto Pires. – École Polytechnique de Montréal, 2011. – 180 p.

Отримана/Received : 2.03.2018 р. Надрукована/Printed :24.3.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Голуб Н.Б.

УДК 613.646:613.14/15

М.Ю. СМІРНОВ, Н.М. ЗАЩЕПКІНА
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОЗРАХУНКУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ В ПРИМІЩЕНІ

Одним з негативних факторів, які погіршують умови праці робітників практично у всіх галузях народного господарства, є пил, який несприятливо впливає на внутрішні органи і центральну нервову систему працюючих, сприяючи виникненню і інтенсивному протіканню професійних захворювань, а також є причиною виробничого травматизму. Тому боротьба з пилом на підприємствах, особливо в останні роки, набуває величезного значення. В останні роки зі зростанням попиту на послуги торгівлі, банків, підприємств сфери побутових та інших послуг з'явилися великі установи масового обслуговування населення, в яких рух великих людських і товарних потоків створює підвищений вміст пилу в приміщеннях. Таким чином, виникає потреба в аналізі існуючих методів вимірювання концентрації пилу і відповідних пиломірів і розробці алгоритму розрахунку концентрації пилу та його автоматизація у вигляді комп'ютерної програми. Метою дослідження є аналіз існуючих методів вимірювання концентрації пилу та розробка алгоритму розрахунку концентрації пилу в приміщені. Розроблення комп'ютерної програми для розрахунку концентрації пилу в повітрі виробничих приміщень підприємств після очищення. У статті розглянуті методи вимірювання концентрації пилу в повітрі робочої зони виробничих приміщень підприємств. Вибрано оптимальний метод, розроблено алгоритм виміру концентрації пилу та написана до нього програма для автоматичного розрахунку концентрації пилу на підприємстві. У ході дослідження було проаналізовано методи вимірювання концентрації пилу у виробничих приміщеннях. Виявлено їхні недоліки так обрано найоптимальніший метод розрахунку який було вдосконалено зміною кількістю зважувань фільтру з пилом, розроблено до нього алгоритм вимірювання та автоматизовано розрахунок шляхом написання комп'ютерної програми. Це дозволило зменшити похибку вимірювання на 19%, прискорити та спростити процес вимірювання та розрахунків концентрації пилу в повітрі виробничих приміщень підприємств.

Ключові слова: пил, датчик, пиломір, фільтр, вимірювання, концентрація, аспіратор, об'єм, барометричний тиск.

M. YU. SMIRNOV, N. N. ZAZHCHEPKINA
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR CALCULATING THE CONCENTRATION OF DUST IN THE ROOM

One of the negative factors that worsen the working conditions of workers in virtually all branches of the national economy is dust that adversely affects the internal organs and the central nervous system of workers, contributing to the emergence and intensive progress of occupational diseases, and also causes the occupational injuries. Therefore, dust control at enterprises, especially in recent years, is gaining great significance. In recent years, with the increasing demand for trade services, banks, households and other services, there have been large institutions of mass maintenance of the population, in which the movement of large human and commodity flows creates a high content of dust in the premises. Thus, there is a need for an analysis of existing methods for measuring the concentration of dust and corresponding dust-meters and developing a algorithm for calculating dust concentration and its automation in the form of a computer program. The purpose of the study is to analyse the existing methods of measuring the concentration of dust and to develop a calculation algorithm for the concentration of dust in the room. Development of computer program for calculation of dust concentration in air of industrial premises of enterprises after cleaning. In the article methods of measuring the dust concentration in the air of the working zone of industrial premises of enterprises are considered. The optimum method has been selected, a algorithm for measuring the concentration of dust and a program for automatic calculation of dust concentration at the enterprise have been developed. In the course of the study, methods of measuring the concentration of dust in industrial premises were analysed. Their defects were identified so that the most optimal method of calculation was chosen, which was improved by changing the number of filter weightings with dust, developed a measurement algorithm and automated calculation by writing a computer program. This made it possible to reduce the measurement error by 19%, to accelerate and simplify the process of measuring and calculating the concentration of dust in the air of industrial premises of enterprises.

Keywords: dust, sensor, dust-meter, filter, measurement, concentration, aspiration, volume, barometric pressure.

Огляд літературних джерел та постановка задачі

Одним з негативних факторів, які погіршують умови праці практично у всіх галузях народного господарства, є пил, який несприятливо впливає на внутрішні органи і центральну нервову систему працюючих, сприяючи виникненню і інтенсивному протіканню професійних захворювань, а також є причиною виробничого травматизму. Тому боротьба з пилом на підприємствах, особливо в останні роки, набуває величезного значення.

На сьогодні існують декілька основних методів вимірювання пилу і відповідно автоматичних пиломірів, що їх реалізують .В роботах [1, 2, 3] детально розглянуті питання побудови оптико-електронних пиломірів для вимірювання пилу.

У дослідженні [4] проаналізовано оптичний пиломір для контролю димових газів ТЕС. Оптичні пиломіри розраховані на значні концентрації пилу до 100 мг/м^3, вимірювання фонових концентрацій пилу в санітарній зоні, атестація робочих місць оптичними пиломірами неможлива внаслідок низької чутливості і методичної похибки.

Цілий ряд технологічних процесів супроводжується утворенням мілкоподрібнених частинок твердої речовини (пилу), які потрапляють в повітря виробничих приміщень і більш-менш тривалий час знаходяться в ньому в підвішеному стані.

Пилоутворення відбувається при дробленні, розмелюванні, перетирання, шліфовці, свердлінні, фасуванні, пакуванні, переробці сільгосппродукції, складської обробки вантажів, вантажно-

розвантажувальних операціях, транспортуванні. Пил утворюється також в результаті конденсації пари важких металів і інших речовин.

В останні роки зі зростанням попиту на послуги торгівлі, банків, підприємств сфери побутових та інших послуг з'явилися великі установи масового обслуговування населення (супер- і гіпермаркети, комбінати сервісного обслуговування, косметичні салони, виставкові комплекси, зали для обслуговування клієнтів фінансових підприємств), в яких рух великих людських і товарних потоків створює підвищений вміст пилу в приміщеннях.

Таким чином, виникає потреба в аналізі існуючих методів вимірювання концентрації пилу і відповідних пиломірів і розробці алгоритму розрахунку концентрації пилу та його автоматизація у вигляді комп'ютерної програми.

Формулювання мети досліджень

Метою дослідження є аналіз існуючих методів вимірювання концентрації пилу та розробка алгоритму розрахунку концентрації пилу в приміщені. Розроблення комп'ютерної програми для розрахунку концентрації пилу в повітрі виробничих приміщень підприємств після очищення.

Виклад основного матеріалу дослідження

На сьогодні існує декілька основних методів вимірювання пилу розглянемо найбільш поширені: гравіметричний, фотометричний, трибоелектричний, електродинамічний.

Гравіметричний метод. Згідно ГОСТ 17.2.4.05-83 «Гравиметрический метод определения взвешенных частиц пыли» масову концентрацію пилу визначають методом зважування частинок пилу на спеціальному фільтрі при проходженні (прокачуванні) через нього фіксованого об'єму пило-газової проби, при цьому концентрація пилу $C_П$ визначається по формулі:

$$C_П = \frac{M_1 - M_2}{V}, \text{ (мг/м}^3\text{)} \quad (1)$$

де M_1, мг – маса фільтра з пилом;

M_2, мг – маса фільтру без пилу;

V – об'єм пропущеної проби, м^3 [1].

Основним недоліком гравіметричного способу є методична похибка вимірювання, яка виникає внаслідок динамічних змін концентрації пилу, зважуванні на електронних терезах пилового фільтру. Старіння елементів схеми терезів, умови експлуатації, зовнішні чинники температури, тиску та інших параметрів також впливають на результат вимірювання терезів, внаслідок коливання коефіцієнта передачі терезів.

Фотометричний метод вимірювання пилу**.** Фотометричний метод заснований на вимірюванні ослаблення інтенсивності випромінювання за рахунок його поглинання частинками пилу, або на реєстрації розсіяного світлового потоку, відбитого від цих частинок.

Оптичні пиломіри дозволяють швидко провести вимірювання значних концентрацій пилу до 2000 мг/м^3. Основною проблемою оптичних методів є методична похибка пов'язана з тим, що фактично вимірюється не масова концентрація пилу у мг/м^3, а щільність пилогазового потоку, яка є функцією концентрації і її треба визначати для кожного виду пилу окремо і відповідно проводити калібрування по гравіметричному методу. Найчастіше оптичні пиломіри використовуються в теплоенергетиці, металургії [4].

Трибоелектричний метод. Метод заснований на вимірюванні електричного заряду, що виникає при взаємодії пилових часток, які рухаються в газовому потоці, з датчиком-стрижнем. Пилові частинки з концентрацією 0–150 мг/м^3 при переміщенні відносно датчика-стрижня створюють у ньому індукційний заряд, яке перетворюється підсилювачем заряду в напругу, пропорційну вмісту пилу в газовому потоці. Напруга надходить на мікропроцесор для аналізу відповідно до програми, після чого проводиться індикація показань вмісту пилу на цифровому індикаторі, включення і виключення світлової сигналізації при спрацьовуванні порогових пристроїв, видача інформації на струмовий вихід і канал зв'язку RS485 (протокол MODBUS RTU).

Цей метод використовується для вимірювання пилу у викидах цементного виробництва, перевалці сипучих матеріалі і також потребує гравіметричного калібрування [6].

Електродинамічний метод. При електродинамічному методі контроль масової концентрації пилу відбувається шляхом визначення на вимірювальному електроді наведеної індукції, що служить мірою загального заряду частинок, що проходять поблизу зонда. Використовується при вимірюванні концентрації пилу в металургії, агломерації, виробництві скла в діапазонах 200–1000 мг/м^3 [7].

За основу розробки алгоритму вимірювання концентрації пилу взято гравіметричний метод із-за його обмеженого діапазону вимірювання концентрації пилу 0–10 мг/м^3, що є доцільним в його використані для санітарно-гігієнічного контролю атмосфери, атестації робочих місць. Але для зменшення похибки даний метод було вдосконалено шляхом зважування нашого фільтру з пилом в два етапи [8].

На першому етапі на цифрових електронних терезах розміщується пиловий фільтр з пилом і фіксується значення показів терезів. Згідно до формули (2) розраховуємо N_1:

$$N_1 = P_1 \times K, \quad (2)$$

де P_1 – вага фільтру після досліду;

K – коефіцієнт передачі терезів.

На другому етапі до пилового фільтру на терезах додається еталонна вагова міра масою P_0 і фіксується результат вимірювання $N_2 = K \times (P_0 + P_1)$ – сумарної маси пилового фільтру з пилом і еталонної вагової міри.

(У якості еталонної міри використовується калібрована вага – міні гиря, вагою у діапазоні 50 - 100 мг.)

Складається і вирішується система рівнянь:

$$\begin{cases} N_1 = K \cdot P_1 \\ N_2 = K \cdot (P_1 + P_0) \end{cases}, \quad (3)$$

далі визначають P_1 по формулі:

$$P_1 = \frac{N_1 \cdot P_0}{N_2 - N_1}, \text{(мг)} \quad (4)$$

Розраховане значення P_1 вводиться в формулу (5).

При визначенні концентрації P_1 по формулі (4) відхилення коефіцієнта K передачі терезів від номінального значення, внаслідок дії зовнішніх чинників, взаємно компенсується, якщо обидва етапи провести з мінімальним розривом у часі.

Концентрацію пилу X_1 в 1 м^3 повітря визначаємо за формулою:

$$X_1 = \frac{P_1 - P_2}{V_1}, \text{(мг/м}^3\text{)} \quad (5)$$

де P_1, P_2 – вага фільтра чи вати до досліду P_2 і після досліду P_1, мг;

V_1 – об'єм повітря, яке протягнене через фільтри, визначаємо за формулою:

$$V_1 = V \cdot T, \text{(л)} \quad (6)$$

де V – покази поплавка ротаметра аспіратора, об'ємна швидкість, л/хв;

T – час досліду, хв.

Об'єм повітря V_0 наведено до нормальних умов (до такого об'єму, який би він займав при температурі 0ºС і тиску 760 мм. рт. ст.) дорівнює

$$V_0 = \frac{V_1 \cdot 273 \cdot B}{(273 + t) \cdot 760}, \text{(м}^3\text{)} \quad (7)$$

де B – барометричний тиск у місці відбирання проби, мм. рт. ст.;

t – температура повітря в місці відбирання проби, ºС.

Концентрація пилу X_0 в 1 м^3 повітря за нормальних умов буде дорівнювати

$$X_0 = \frac{P_1 - P_2}{V_0}, \text{(мг/м}^3\text{)} \quad (8)$$

Отримані дані розрахунків записують в таблицю, та проводять оцінку показників запиленості у виробничому приміщені шляхом порівняння результатів досліджень з вимогами ГОСТ 12.1.005-88 [9].

На основі наведеного алгоритму було розроблено комп'ютерну програму яка має вигляд наведений на рис. 1.

Для початку роботи з програмою користувачу необхідно ввести наступні дані:

- ввести назву пилу концентрацію якого ми вимірюємо;
- гранично допустиму концентрацію пилу згідно до нормативів;
- масу фільтру до та після виконання досліду;
- вибрати масу еталону;
- ввести коефіцієнт передачі терезів на яких зважуємо фільтри;
- об'єм прокачаного нами за хвилину повітря;
- атмосферний тиск на момент досліду;
- час проведення досліду;
- температуру навколишнього середовища.

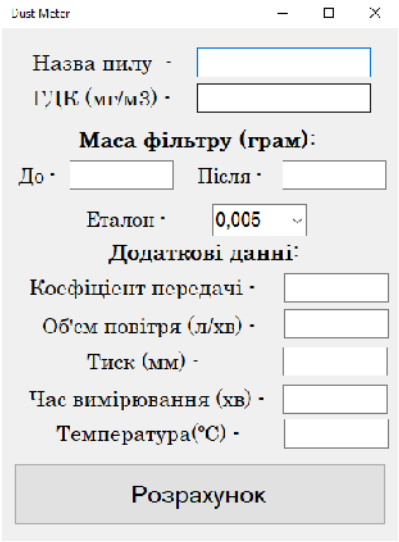


Рис. 1. Вікно вхідних даних яке заповнює користувач

Після введення даних натискають кнопку «Розрахунок». В результаті роботи програми на екрані з'явиться таблиця, в якій будуть вказані всі відомі нам данні та розрахована концентрація пилу, а також вказано на скільки отриманий нами результат перевищує значення гранично допустимої концентрації чи задовольняє його. Якщо не закривати таблицю та змінивши вхідні данні новими, то після повторного натискання кнопки «Розрахунок» до таблиці буде додано строку з результатами другого вимірювання тощо [10].

Висновки

Таким чином, у ході дослідження було проаналізовано методи вимірювання концентрації пилу у виробничих приміщеннях. Виявлено їхні недоліки так обрано найоптимальніший метод розрахунку який було вдосконалено зміною кількістю зважувань фільтру з пилом, розроблено до нього алгоритм вимірювання та автоматизовано розрахунок шляхом написання комп'ютерної програми. Це дозволило зменшити похибку вимірювання на 19%, прискорити та спростити процес вимірювання та розрахунків концентрації пилу в повітрі виробничих приміщень підприємств.

Номер зважування	До досліду P1,мг	Після досліду P2, мг	Температура повітря, t	Барометричний тиск, мм. рт. ст.	Швидкісний об'єм з ротаметра, л/хв	Час проведення досліду V, хв
1,000000	0,002300	0,059000	18,000000	745,000000	20,000000	20,000000

Об'єм повітря,який протягується при данній температурі V1	Концентрація пилу X1, мг/м3	Наведений об'єм Повітря V0	Концентрація пилу в 1 м3 при норм. умовах X0, мг/м3	Назва Пилу	Гдк пилу згідно з нормами ГОСТ 12.1.005-88 в мм/м3	Перевищення норми, абсолютне	Перевищення норми, відносне
400,000000	0,000142	367,851300	0,000154	Металі...	0,003000	не перевищує	не перевищує

Рис. 2. Результат роботи програми

Література

1. Соломічев Р. І. Розробка та обґрунтування структури вимірювальної системи контролю вибухонебезпечних пило-газових сумішей в шахтному виробітку / Р. І. Соломічев,О. В. Вовна, А. А. Зорі // Вісник НТУ «Харківський політехнічний інститут» : збірник наукових праць «Електроенергетика та перетворювальна техніка». – Харків, 2014. – № 19 (1062). – С. 154–163.
2. Балтренас П. Б. Моделирование процесса переноса пылевых смесей из потока воздуха в радиальном направлении / П. Б. Балтренас, Б. П. Мартиеннас // Проблемы контроля и защита атмосферы от загрязнений. – К., 1983. – Вып. 9. – С. 58–60.
3. Семенов В. В. Результаты компьютерного моделирования оптических пылемеров для контроля концентрации угольной пыли / В. В. Семенов // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2001. – № 3. – С. 23–24.
4. Максименко Ю. Н. Переносной оптический пылемер ВОГ – 2 / Ю. Н. Максименко, Е. Г. Мазан, А. К. Тимин // Вісник НТУУ "КПІ". Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2010. – Вип. 40. – С. 81–86.
5. ГОСТ 17.2.4.05-83 Охрана природы. Атмосфера. Гравиметрический метод определения взвешенных частиц пыли.
6. Соломічев Р. І. Розробка та обґрунтування структури вимірювальної системи контролю вибухонебезпечних пило-газових сумішей в шахтному виробітку / Р. І. Соломічев,О. В. Вовна, А. А. Зорі // Вісник НТУ «Харківський політехнічний інститут» : збірник наукових праць «Електроенергетика та перетворювальна техніка». – Харків, 2014. – № 19 (1062). – С. 154–163.
7. Алиев Г.М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов / Алиев Г. М. – Москва, 1986. – 544 с.
8. Корнієнко Д. Г. Автоматична система очистки пробопідготовки газоаналізаторів димових газів / Д. Г. Корнієнко, В. П. Приміський // Технологический аудит и резервы производства. – Харків, 2015. – № 1/3(21). – С. 29–32.
9. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М., 1988.
10. Заявка на авторське право на компютерну пограму АПС/724-118 від 13.02.2018 «Комп'ютерна програма «DUST_METER»».

References

1. Solomichev R. I. Rozrobka ta obgruntuvannia struktury vymiriuval'noi systemy kontroliu vybukhonebezpechnykh pylo-hazovykh sumishej v shakhtnomu vyrobitku / R. I. Solomichev,O. V. Vovna, A. A. Zori // Visnyk NTU «Kharkivs'kyj politekhnichnyj instytut». Zbirnyk naukovykh prats' «Elektroenerhetyka ta peretvoriuval'na tekhnika». – Kharkiv, 2014. – № 19 (1062). – S. 154 – 163.
2. Baltrenas P. B. Modelyrovanye protsessa perenosa pylevykh smesej yz potoka vozdukha v radyal'nom napravlenyy / P. B. Baltrenas, B.P. Martyennas // Problemy kontrolia y zaschyta atmosfery ot zahriaznenyj. – K., 1983. – Vyp. 9. – S. 58 – 60.
3. Semenov V. V. Rezul'taty komp'iuternoho modelyrovanyia optycheskykh pylemerov dlia kontrolia kontsentratsyy uhol'noj pyly / V.V. Semenov // Yzv. vuzov. Sev.-Kavk. rehyon. Tekhn.nauky. - 2001. - № 3. – S. 23 – 24.
4. Maksymenko Yu. N. Perenosnoj optycheskyj pylemer VOH – 2. / Yu. N. Maksymenko, E. H. Mazan, A. K. Tymyn // Visnyk NTUU "KPI". Seriia PRYLADOBUDUVANNYa. – 2010. – Vyp. 40 – S. 81 – 86.
5. HOST 17.2.4.05-83 Okhrana pryrody. Atmosfera. Hravymetrycheskyj metod opredelenyia vzveshennykh chastyts pyly.
6. Solomichev R. I. Rozrobka ta obgruntuvannia struktury vymiriuval'noi systemy kontroliu vybukhonebezpechnykh pylo-hazovykh sumishej v shakhtnomu vyrobitku / R. I. Solomichev,O. V. Vovna, A. A. Zori // Visnyk NTU «Kharkivs'kyj politekhnichnyj instytut». Zbirnyk naukovykh prats' «Elektroenerhetyka ta peretvoriuval'na tekhnika». – Kharkiv, 2014. – № 19 (1062). – S. 154 – 163.
7. Alyev H.M. Tekhnyka pyleulavlyvanyia y ochystky promyshlennykh hazov. / Alyev H. M – Moskva, – 1986. – 544 s.
8. Korniienko D. H. Avtomatychna systema ochystky probopidhotovky hazoanalizatoriv dymovykh haziv / D. H. Korniienko, V.P. Prymis'kyj // Tekhnolohycheskyj audyt y rezervy proyzvodstva. Kharkiv. – 2015. – № 1/3(21). – S. 29 – 32.
9. HOST 12.1.005-88. Obschye sanytarno-hyhyenycheskye trebovanyia k vozdukhu rabochej zony.-M.: 1988
10. Zaiavka na avtors'ke pravo na kompiuternu pohramu APS/724-118 vid 13.02.2018 «Komp'iuterna prohrama «DUST_METER».

Рецензія/Peer review : 20.02.2018 р. Надрукована/Printed :30.03.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.Г. Здоренко

УДК 621.9.048.6

В.П. МІСЯЦЬ, Т.І. КУЛІК
Київський національний університет технологій та дизайну
О.С. ПОЛІЩУК, С.П. ЛІСЕВИЧ
Хмельницький національний університет

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ШНЕКОВОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПРЕСУВАННЯ КАВИ

Метою дослідження є вивчення процесу і основних закономірностей шнекових пресів і можливості їх ефективного використання для пресування порошку кави в автоматичних кавових машинах. Методологічною і теоретичною основою дослідження служать основні положення теорії переробки сипких середовищ, інтегральне і диференціальне числення.

***Ключові слова**: автоматична кавова машина, мелена кава, шнековий прес, математична модель, раціональні параметри.*

V.P. MISYATS, T.I. KULIK
Kyiv National University of Technologies and Design
S.P. LISEVYCH, O.S. POLISCHUK
Khmelnytskiy National University

ANALYTICAL STUDY OF THE WORKING OF THE MECHANICAL APPLIANCE FOR CAVE PRESERVATION

The purpose of the study is to study the process and the basic laws of screw presses and the possibility of their effective use for pressing powder coffee in automatic coffee machines. The methodological and theoretical basis of the study are the main provisions of the main provisions of the theory of processing of friable media, integral and differential calculus. The mathematical analysis of the motion process and the condensation of powder material in the screw conduit of the screw press is carried out. Formulas for determining the pressure produced by the press, volume productivity and power consumption are obtained. For the first time the theoretical justification of the choice of rational structural parameters of the screw, providing maximum pressure at the output of the device. The dependence of the screw device performance on the transport angle is obtained. The pressure and discharge characteristics of the device are established. It is established that the maximum value of pressure almost does not depend on the depth of the screw holes. The results of the study can be used to improve the design of machines for the automatic preparation of coffee beverages.

Key words: automatic coffee machine, ground coffee, screw press, mathematical model, rational parameters.

Вступ

Шнекові преси давно відомі в різних галузях промисловості і побутових машинах.

Процес пресування відбувається при переміщенні матеріалу в каналі шнеку, при його обертанні в циліндричному каналі циліндру. Ефективність процесу створення тиску на виході з пресу і його продуктивність залежать від наступних чинників: співвідношення геометричних розмірів шнека; кута гвинтової нарізки шнека; коефіцієнтів тертя матеріалу по поверхням шнеку і циліндра; кута внутрішнього тертя матеріалу і його в’язкості; швидкості обертання шнеку.

Постановка проблеми

Для визначення раціональних значень параметрів шнекового пристрою для пресування кави необхідно розробити його математичну модель і провести її аналіз. Об’єктом дослідження є процеси ефективного пресування порошку кави в формах з метою наступного ефективного заварювання напою. Предметом дослідження є шнекові преси для пресування порошкових матеріалів. Метою дослідження є вивчення можливості ефективного використання шнекових пресів для пресування порошку кави в автоматичних кавових машинах.

Виклад основного матеріалу

Основні геометричні параметри шнекового пресу показані на рис. 1.

Складемо рівняння балансу сил, діючих на матеріал при його пресуванні. Взаємний рух циліндра, матеріалу і шнека розглядатимемо в оберненому русі на розгортці каналу на площину (рис. 2).

Циліндр рухається щодо нерухомого каналу з окружною швидкістю V . Матеріал рухається вдовж по каналу з швидкістю V_M . Вектор відносної швидкості ковзання циліндра за матеріалом $V_{Ц/M}$ направлений під кутом а α подовжньої осі каналу Z .

У матеріалі, що ущільнюється, розвивається тиск, що зростає у напрямі його руху. Під дією цього тиску на поверхнях матеріалу виникають сили тертя.

Складемо рівняння балансу сил, що діють на виділений елемент матеріалу розмірами B , H і dz у напрямі осі z (рис. 2). Приймемо наступні початкові положення:

- дотичні напруження на поверхнях тертя пропорційні коефіцієнту тертя f і нормальній напрузі на цих поверхнях;
- напрями дотичних напружень на поверхнях співпадають з напрямом відповідних швидкостей ковзання;
- нормальне напруження, що розвивається у напрямі відносних зсувів частинок матеріалу при його ущільненні (в даному випадку напруження σ_{zz} уздовж каналу), більше напружень σ_{xx} і σ_{yy} в двох інших взаємно перпендикулярних напрямах і пов’язане з ними коефіцієнтом бічного тиску k :

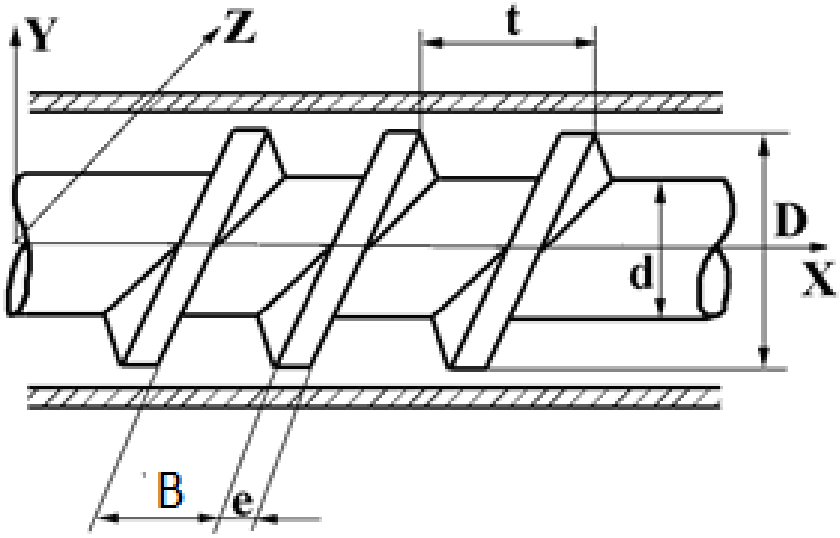


Рис. 1. Основні геометричні параметри шнека: D **- діаметр циліндра;** d **- діаметр осердя шнека;** B **- ширина каналу шнека;** t **- крок гвинтової лінії;** e **- товщина витків шнека**

$$\sigma_{xx} = k \cdot \sigma_{zz} \; ; \; \sigma_{yy} = k \cdot \sigma_{zz} \; ; \tag{1}$$

- змінення всіх напружень у напрямі x практично відсутні, проте в напрямі y внаслідок кривизни каналу їх розподіл неоднорідний, так що напруження на нижній і верхній поверхнях виділеного елементу істотно різні.

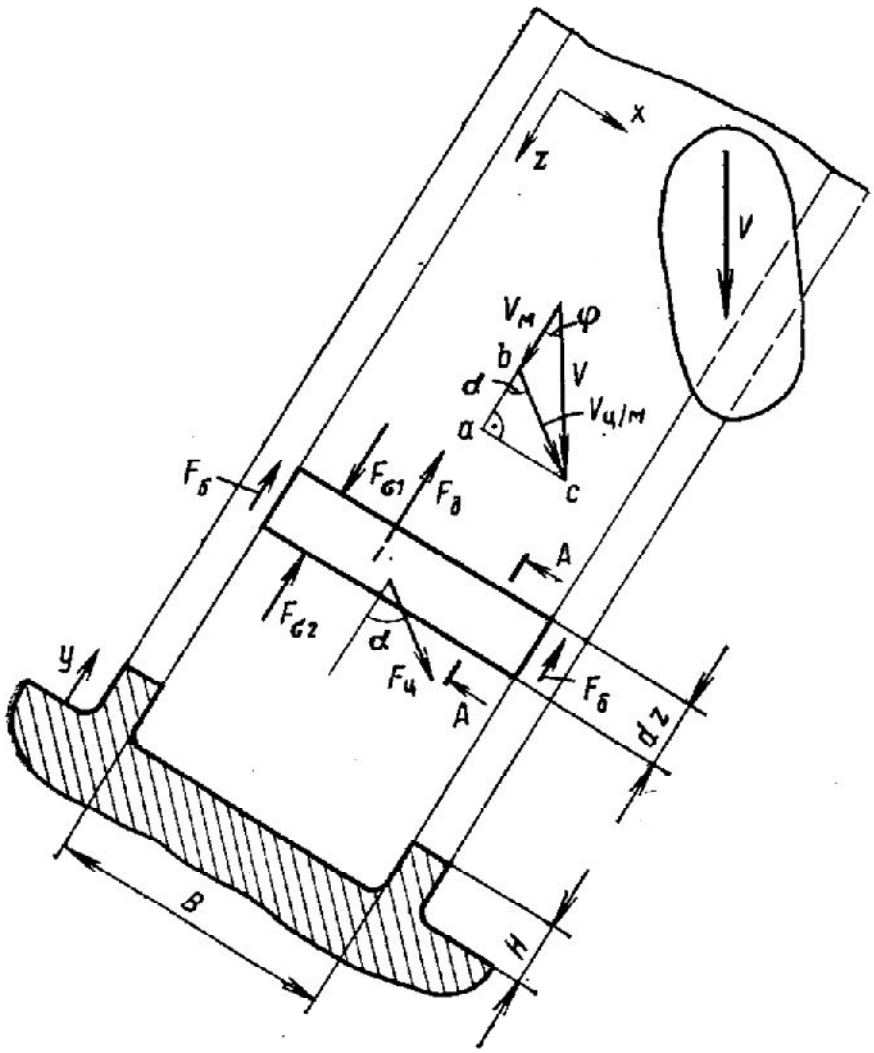


Рис.2. Схема дії сил на матеріал в зоні живлення

Рівняння проекцій сил, що діють на елемент у напрямі z, має вигляд:

$$F_{\sigma 1} + F_{Ц} \cdot \cos\alpha - F_{\sigma 2} - F_{Д} - 2F_{Б} = 0 \quad (2)$$

де $F_{\sigma 1}$ і $F_{\sigma 2}$ – сили від нормальних напружень σ_{zz} що діють в поперечних перетинах каналу; $F_{Ц}$ – сила тертя циліндра об матеріал; $F_{Д}$ і $F_{Б}$ – сили тертя дна і бічних поверхонь каналу об матеріал відповідно.

Ці сили мають наступні вирази:

$$F_{\sigma 1} = \tilde{\sigma}_{zz} \cdot B \cdot H \; ; \; F_{\sigma 2} = \left(\tilde{\sigma}_{zz} + d\tilde{\sigma}_{zz}\right) \cdot B \cdot H \; ; \; F_{Ц} = \sigma_{yy(y=0)} \cdot f \cdot B \cdot dz \quad (3)$$

$$F_{Д} = \sigma_{yy(y=H)} \cdot f \cdot B \cdot \left(\frac{R_C}{R}\right) dz \; ; \; F_{Б} = \tilde{\sigma}_{xx} \cdot f \cdot H \cdot 0,5\left(1 + \frac{R_C}{R}\right) dz \quad (4)$$

Внаслідок відміченої неоднорідності напружень в напрямі y у вирази для $F_{\sigma 1}$, $F_{\sigma 2}$ і $F_{Б}$ входять середньоінтегральні за висотою каналу значення σ_{zz} і σ_{xx}:

$$\tilde{\sigma}_{zz} = \frac{1}{H}\int_0^H \sigma_{zz}(y) \cdot dy \; ; \; \tilde{\sigma}_{xx} = \frac{1}{H}\int_0^H \sigma_{xx}(y) \cdot dy \quad (5)$$

Співмножники $\frac{R_C}{R}$ і $0,5\left(1 + \frac{R_C}{R}\right)$ у виразах для $F_{Д}$ і $F_{Б}$ враховують нерівність площ нижньої і верхньої поверхонь елементу внаслідок кривизни каналу. Тут R і R_C радіуси гребеня і осердя шнека відповідно.

Виражаючи σ_{xx} і σ_{yy} відповідно до (1), вводячи (3) в (2) і ділячи кожен доданок на добуток $B \cdot H \cdot dz$ отримуємо наступний вираз балансу сил:

$$-\frac{d\tilde{\sigma}_{zz}}{dz} + \frac{f \cdot k}{H}\left[\sigma_{zz(y=0)} \cdot cos\alpha - \sigma_{zz(y=H)} \cdot \frac{R_C}{R} - \sigma_{zz}\frac{H}{B} \cdot \left(1 + \frac{R_C}{R}\right)\right] = 0 . \quad (6)$$

Взаємозв'язок між $\tilde{\sigma}_{zz}$, $\sigma_{zz(y=H)}$ і $\sigma_{zz(y=0)}$ встановимо, розглянувши силову рівновагу елементу матеріалу Б (рис. 3), виділеного з каналу так, як це показано в перетині А-А (рис. 2). Сам перетин А-А показаний на рис. 3. З метою простоти міркувань введемо кутову координату θ і радіальну r, пам'ятаючи, що напрями θ і z при малих значеннях кута φ практично співпадають, а напрями y і r протилежні.

На рис. 3 показані тільки ті діючі на елемент напруження, проекції яких на вісь r (або y) не рівні нулю. Сума проекцій сил, що діють на елемент, на напрям r рівна:

$$\sigma_{yy} r d\theta - \left(\sigma_{yy} + d\sigma_{yy}\right)\left(r + dr\right) d\theta + \left(2\sigma_{zz} + d\sigma_{zz}\right) dr \cdot tg\left(\frac{d\theta}{2}\right) = 0 . \quad (7)$$

У цьому виразі через малість кута $d\theta$ правомірно наступне наближення:

$$tg\left(\frac{d\theta}{2}\right) \approx 0,5 d\theta . \quad (8)$$

Ввівши в (7) співвідношення між σ_{yy} і σ_{zz} згідно (1), .розкривши дужки і відкинувши доданки малого в порівнянні з іншими порядку, отримуємо після ділення кожного доданку на $r \cdot dr \cdot d\theta$ наступне рівняння:

$$\sigma_{zz}\left(1 - k\right)\frac{1}{r} - k\frac{d\sigma_{zz}}{dr} = 0 . \quad (9)$$

Розділяючи в ньому змінні σ_{zz} і r і вирішуючи його за граничних умов:

$$\sigma_{zz(r=R)} = \sigma_{zz(y=0)} \; ; \; \sigma_{zz(r=r)} = \sigma_{zz(r)} , \quad (10)$$

отримуємо вираз для розподілу σ_{zz} по висоті каналу:

$$\sigma_{zz(r)} = \sigma_{zz(y=0)}\left(\frac{r}{R}\right)^{\left(\frac{1}{k} - 1\right)} . \quad (11)$$

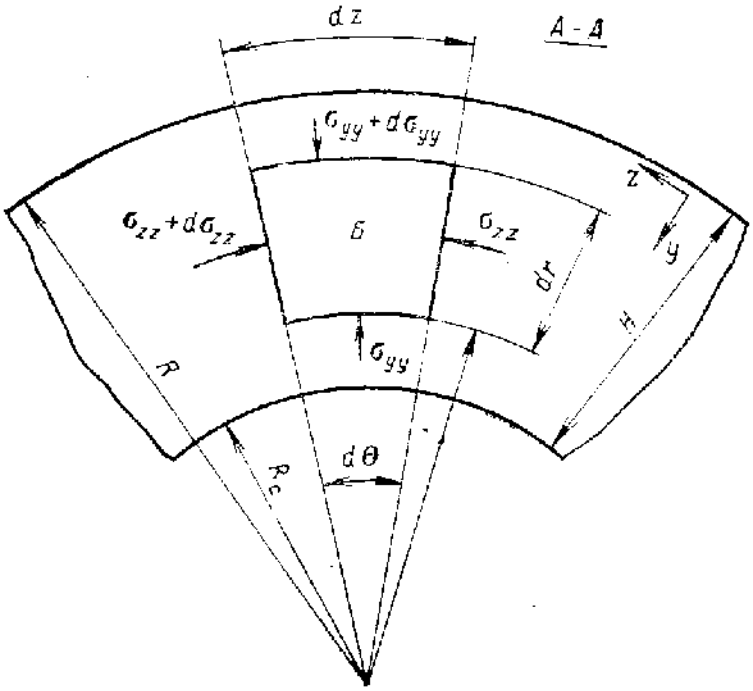


Рис. 3. Вид перетину А-А

Відповідно до визначення вираз для середньоінтегральної в перетині величини $\tilde{\sigma}_{zz}$ має вигляд:

$$\tilde{\sigma}_{zz} = \frac{1}{R - R_C} \int_{R_C}^{R} \sigma_{zz}(r)\, dr . \tag{12}$$

Вводячи (11) в (12), отримуємо шуканий взаємозв'язок між $\sigma_{zz(y=0)}$ і $\tilde{\sigma}_{zz}$:

$$\sigma_{zz(y=H)} = \tilde{\sigma}_{zz} \frac{1-\bar{R}_C}{k} \left(1 - \bar{R}_C^{\frac{1}{k}}\right)^{-1} , \tag{13}$$

де $\bar{R}_C = R_C / R$.

Подібний же вираз для $\sigma_{zz(y=H)}$ отримуємо, ввівши (12) у (13) і поклавши в нім $r = R_C$:

$$\sigma_{zz(y=H)} = \tilde{\sigma}_{zz} \frac{1-\bar{R}_C}{k} \left(1 - \bar{R}_C^{\frac{1}{k}}\right)^{-1} \bar{R}_C^{\left(\frac{1}{k}-1\right)} \tag{14}$$

Замінюючи в (6) величини $\sigma_{zz(y=0)}$ і $\sigma_{zz(y=H)}$ їх виразами (13) і (14), отримуємо диференціальне рівняння, що описує розподіл σ_{yy} по довжині каналу Z :

$$\frac{f \cdot F_\alpha}{H} \tilde{\sigma}_{zz} = \frac{d\tilde{\sigma}_{zz}}{dz} , \tag{15}$$

де

$$F_\alpha = \frac{1-\bar{R}_C}{1-\bar{R}_C^{1/k}} \cos\alpha - \frac{1-\bar{R}_C}{1-\bar{R}_C^{1/k}} \bar{R}_C^{1/k} - k\frac{H}{B}\left(1+\bar{R}_C\right) . \tag{16}$$

Інтегрування (15) за умови $\tilde{\sigma}_{zz(z=0)} = \sigma_0$ дає функцію $\tilde{\sigma}_{zz}(z)$:

$$\tilde{\sigma}_{zz}(z) = \sigma_0 \cdot exp\left(\frac{f \cdot F_\alpha \cdot z}{H}\right) \tag{17}$$

Величину σ_0 на вході в зону живлення можна приймати рівною вазі стовпа матеріалу заввишки h одиничної площі:

$$\sigma_0 = \rho \cdot g \cdot h , \tag{18}$$

де ρ – густина матеріалу в бункері циліндра; g – прискорення вільного падіння.

Якщо відома величина $\sigma_к$, яка рівна тиску на виході з пресу, то з (16) отримуємо вираз для визначення параметра F_α :

$$F_\alpha = \left(\ln\frac{\sigma_к}{\sigma_0}\right)\frac{H}{Z \cdot f} , \tag{19}$$

де $Z = \frac{L}{\sin\varphi}$ (тут L – довжина пристрою, зміряна вздовж осі шнека).

Параметр F_α як видно з (16), пов'язаний з кутом транспортування α, що визначає продуктивність пристрою.

Продуктивність пристрою

Формула для об'ємної продуктивності Q має вигляд:

$$Q = V_M \cdot B \cdot H \ . \tag{20}$$

Взаємозв'язок між V_M і кутом транспортування α визначена наступним тригонометричним співвідношенням для трикутника *abc* векторної діаграми на рис. 2:

$$ctg\alpha = \frac{ab}{bc}; \quad ab = V\cos\varphi - V_M \ ; \ bc = V\sin\varphi \tag{21}$$

Вирішуючи (21) відносно V_M і вводячи його в (20), отримуємо:

$$Q = B \cdot H \cdot V\left(\cos\varphi - \sin\varphi \cdot ctg\alpha\right). \tag{22}$$

Таким чином, продуктивність знижується із зменшенням кута транспортування α, стаючи рівною нулю при $\alpha = \varphi$, що також зрозуміло з векторної діаграми на рис. 2.

Кут транспортування α може бути обчислений за формулами (16) і (17), якщо відомі величини σ_0 і $\sigma_к$. Може бути вирішена і зворотна задача: визначення тиску, який розвинеться на виході із зони живлення, якщо відома продуктивність Q. Таким чином, формули (16), (17) і (22) визначають напірно-розходову характеристику пристрою.

Інтегрування рівняння (16), в результаті якого отриманий вираз (17), виконано за умови незалежності α від z. Реально ж ця залежність існує. Підлягаючи все більшому тиску при русі в каналі, мелена кава ущільнюється і зменшується в об'ємі. Масова витрата G в будь-якому перетині каналу постійна:

$$G = \rho \cdot V_M \cdot B \cdot H\sqrt{b^2 - 4ac} \tag{23}$$

Тому якщо густина ρ зростає у напрямі z, то швидкість руху V_M і, отже, α повинні зменшуватися в цьому напрямі.

Точне рішення задачі про силовий баланс для матеріалу, що стискається, достатньо складне. Наближений розрахунок в цьому випадку можливий, якщо обчислене по (16), (21) значення α перед введенням його в (22) коректується по графіку, приведеному на рис. 4.

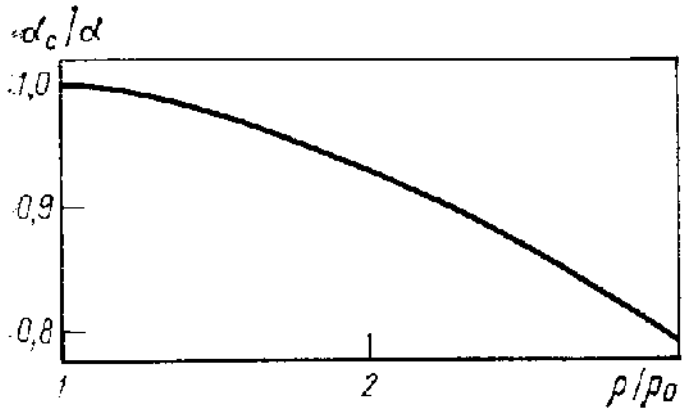


Рис. 4. Вид функції $\frac{\alpha_C}{\alpha} = f\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)$

На цьому графіку приведена залежність відношення кутів транспортування в кінці зони живлення для стискуваного α_C і не стискуваного α матеріалів від відношення густини на виході із пристрою ρ і на вході в неї ρ_0 для шнеку з кутом нарізки φ =17°.

Потужність, що витрачається на транспортування матеріалу.

Потужність W, що підводиться до шнеку для його обертання, витрачається, по-перше, на створення тиску на виході із пристрою, по-друге, перетворюється на тепло на поверхнях тертя. Перша складова незначна у порівнянні із загальною потужністю, у зв'язку з чим нею можна нехтувати.

Вираз для диференціально малої потужності, що витрачається на подолання сил тертя при русі по каналу показаного на рис. 1 елементу матеріалу, має вигляд:

$$dW = F_Ц \cdot V_{Ц/М} + 2F_Б V_M + F_Д V_M \tag{24}$$

Величина $V_{Ц/М}$ визначається з векторної діаграми на рис. 3.2:

$$V_{Ц/М} = V\left(\frac{\sin\varphi}{\cos\alpha}\right) \tag{25}$$

Отримавши вирази для $F_Ц$, $F_Б$ і $F_Д$ так само, як і в попередньому розділі, і використовуючи вирази (25) і (21) для $V_{Ц/М}$ і $V_М$ відповідно, приводимо (24) до наступного вигляду:

$$dW = V \cdot k \cdot f \cdot B \cdot P_\alpha \cdot \tilde{\sigma}_{zz}(z)\,dz\,, \tag{26}$$

де

$$P_\alpha = \frac{1-\bar{R}_C}{\left(1-\bar{R}_C^{\,1/k}\right)\cdot k}\frac{\sin\varphi}{\cos\alpha} + \left[\frac{H}{B}\left(1+\bar{R}_C\right) + \frac{1-\bar{R}_C}{\left(1-\bar{R}_C^{\,1/k}\right)\cdot k}\bar{R}_C^{\,1/k}\right]\left(\cos\varphi - \sin\varphi\cdot ctg\alpha\right). \tag{27}$$

Вводячи в (26) вираз (17) для розподілу $\tilde{\sigma}_{zz}$ по довжині каналу і виконуючи інтегрування по Z від 0 до $Z = \frac{L}{\cos\varphi}$, отримуємо формулу для розрахунку потужності приводу шнека:

$$W = \sigma_0 \cdot V \cdot k \cdot B \cdot H\,\frac{P_\alpha}{F_\alpha}\cdot\left[\exp\left(f\,\frac{F_\alpha \cdot L}{H\cdot\sin\varphi} - 1\right)\right] \tag{28}$$

Тиск в каналі шнеку і, отже, споживана потужність інтенсивно зростають із зменшенням продуктивності і досягають максимуму при рівності продуктивності нулю, тобто коли кут транспортування α а стає рівним куту нарізки шнека φ. (див. векторну діаграму на рис. 2). Таким чином, максимально можлива споживана потужність може бути розрахована по формулі (28) (з використанням (19) і (22)) за умови $\alpha = \varphi$.

Для аналізу математичної моделі використовуємо середовище МАТКАД.

Проведемо аналіз залежності тиску, що створюється на виході з пресу при його нульовій продуктивності (робота на пресування) від геометричних розмірів шнеку.

Для цього підставимо в формулу (17) вираз (16):

$$\tilde{\sigma}_{zz}(z) = \sigma_0 \cdot exp\left(\frac{f\cdot\left[\frac{1-\bar{R}_C}{1-\bar{R}_C^{\,1/k}}\cos\alpha - \frac{1-\bar{R}_C}{1-\bar{R}_C^{\,1/k}}\bar{R}_C^{\,1/k} - k\,\frac{H}{B}\left(1+\bar{R}_C\right)\right]\cdot z}{H}\right).$$

Враховуючи співвідношення між геометричними параметрами шнека:

$H = R_Ц - \bar{R}_C$; $B = 2R\cdot\sin\varphi$ і поклавши $\alpha = \varphi$ (нульова продуктивність при максимальному тиску на виході) побудуємо графік залежності тиску від кута гвинтової лінії шнеку φ і радіуса осердя $\bar{R}_C$.

Отриманий графік представлено на рис. 5.

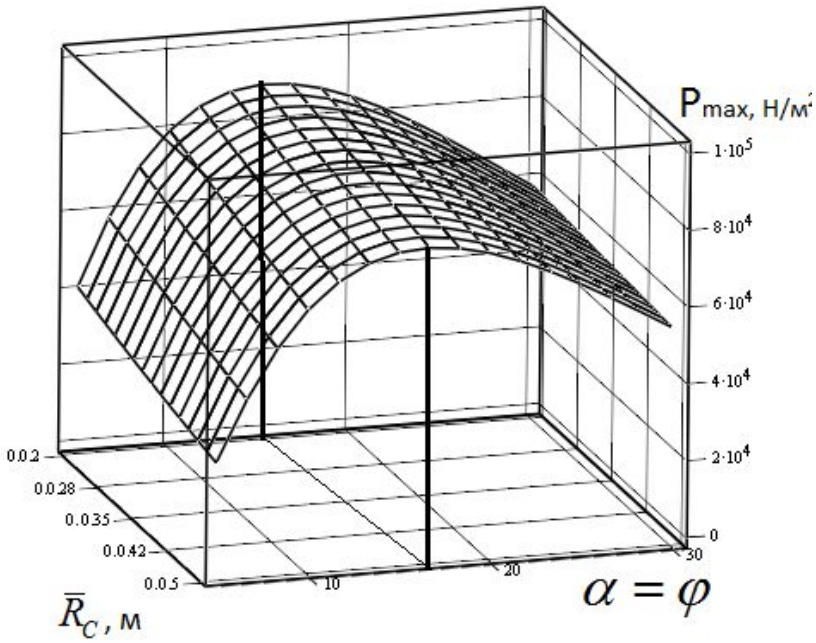


Рис. 5. Графік залежності тиску на виході з шнекового пресу від кута гвинтової лінії шнеку φ і радіуса осердя $\bar{R}_C$

Побудуємо графік залежності тиску на виході з пресу від довжини зони пресування (рис. 6).

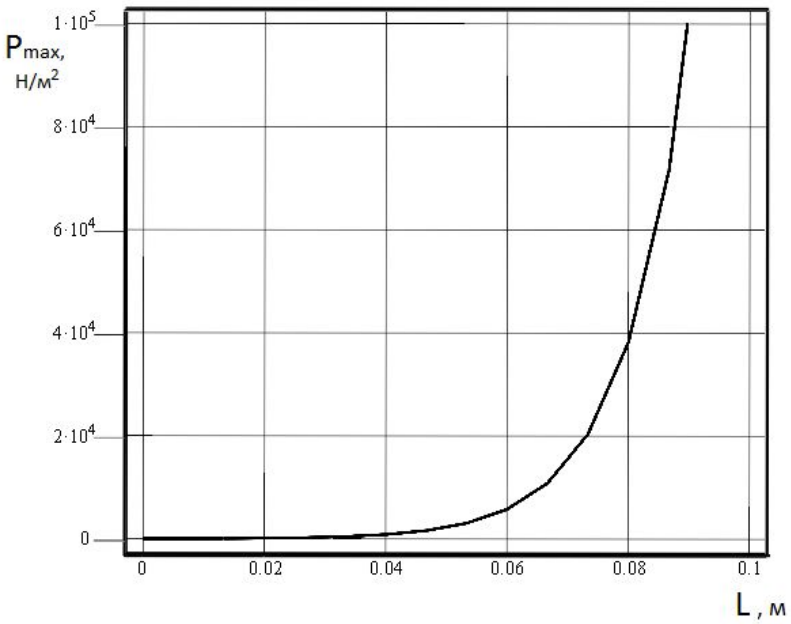


Рис. 6. Графік залежності тиску на виході з шнекового пресу від довжини зони пресування

Результат роботи

Проведено математичний аналіз процесу руху і ущільнення порошкового матеріалу в гвинтовому каналі шнекового пресу. Отримано формули для визначення тиску, що створюється пресом, об'ємної продуктивності і споживаної потужності. Вперше теоретично обґрунтовано вибір раціональних конструктивних параметрів шнеку, що забезпечують максимальний тиск на виході з пристрою. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення конструкцій машин для автоматичного приготування кавових напоїв.

Висновки

З графіку на рис. 5 видно, що тиск набуває максимального значення при φ=16…18°. І це значення майже не залежить від глибини впадин шнеку. Тобто можна зробити висновок про доцільність виконання шнеку з кутом гвинтової лінії φ=17° .

Діаметр циліндру, а відповідно і діаметр витків шнеку приймаємо рівним діаметру фільтру для пресування кави, який в усіх кавових машинах становить 45 мм.

З графіку (рис. 6) видно, що тиск 9500 Н/м^2, який відповідає дії ваги 15 кг на фільтр з кавою діаметром 45 мм буде досягатися при довжині шнеку 90 мм.

Таким чином, для кавової машини потрібно виготовити шнековий прес з наступними параметрами: діаметр циліндра 45 мм; діаметр осердя шнека 20 мм; кут гвинтової лінії 17 град; довжина шнеку 90 мм.

Література

Басов Н.И. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов / Н.И. Басов, Ю.В. Казанков, В.А Любартович. – Москва : Химия, 1986. – 488 с.

References

Basov N.Y. Raschet y konstruyrovanye oborudovanyia dlia proyzvodstva y pererabotky polymernykh materyalov / N.Y. Basov, Iu.V. Kazankov, V.A. Liubartovych. – Moskva : Khymyia, 1986. – 488 s.

Отримана/Received : 15.2.2018 р. Надрукована/Printed :24.3.2018 р.
Рецензент: к.т.н., проф. Кармаліта А.К.

УДК 29-93

А.В. СВІНЦІЦЬКИЙ, В.П. ТКАЧУК, К.С. СОКОЛАН
Хмельницький національний університет

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМУ ЗАПИРАННЯ ТВЕРДОПАЛИВНОГО КОТЛА З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕКОНОМІЧНОСТІ

У даній роботі викладено результати проведеного аналізу у Flow Simulation впливу негерметичності камери згорання на ККД твердопаливного котла. Запропоновано конструкцію механізму запирання та розраховано силове навантаження на основні деталі.

Ключові слова: твердопаливний котел; solidworks simulation; метод скінчених елементів; віртуальні та емпіричні дослідження.

A.V. SVINTSITSKIY, V.P. TKACHUK , K.S. SOKOLAN
Khmelnytskiy National University

IMPROVEMENT OF CLOSING MECHANISM CONSTRUCTION OF SOLID-FUEL BOILER WITH THE OBJECT OF INCREASING ITS ECONOMY

The most wide spreaded mechanisms of closing solid-fuel boilers are analyzed in this article and there deficiencies and advantages are detected. The calculation of volumes and masses of combustion products and waste gases was realized. Simplified 3-D model of solid-fuel boiler was created. The analysis in Flow Simulation of the influence of thin heat-insulated cord Izopac 57 to the window of the boiler on the efficiency factor was carried out. Simulation of solid-fuel boiler operation was carried out under normal conditions, with value of natural draught with depression in flue 15 Pa. After analyzing problems that occur during production and exploitation of solid-fuel boilers and after processing received experimental results it was determined that rotational mechanism must have possibility of adjusting pressing force of locking screen to the bode, and have possibility to adjust inclination angle of the screen relatively to the horizontal surface of the boiler's window in closed position. This adjusting will provide firm adherence to heat insulating cord and solve problem with jamming. On the basis of construction analysis of existing closing mechanisms the construction, which provides stable hermetic closing of the boiler due to compliant display and possibility of adjusting relatively to the window in three dimensions was offered. The calculation of the most vulnerable elements of construction was carried out in SolidWorks Simulation. The calculation of the hook's handle form that contacts with ear was carried out and examination for a possibility to self-dependent opening was performed. The force, which must be applied to the handle for closing boiler and for providing its hermeticity was calculated. 3-D model of closing mechanism construction was developed and created. The technology of production hook detail was developed. Using CAMWorks software the program of part processing on the lathe HAAS VFI was created.

Keywords: solid-fuel boiler; solidworks simulation; finite element method; virtual and empiric researches.

Вступ

В останні роки в Україні спостерігається тенденція подорожчання органічного палива. Особливо це стосується такого виду палива, як природний газ. У зв'язку з цим відбувається перехід на інші джерела теплової енергії при опаленні приватних будинків зокрема тверде паливо. Тому розроблення і вдосконалення твердопаливних котлів є актуальною задачею сьогодення. Метою роботи було удосконалення механізму запирання твердопаливного котла, для підвищення ККД та покращення екологічної безпеки.

Теоретичні дослідження

Для дослідження потоків газів в камері згорання котла за допомогою Flow Simulation ми використали спрощену модель твердопаливного котла виробництва КОРДІ АОТВ 16-20Е зображеного на рис. 1. На рис. 2 зображений переріз котла АОТВ 16-20Е.

Рис. 1. Твердопаливний котел АОТВ 16-20Е

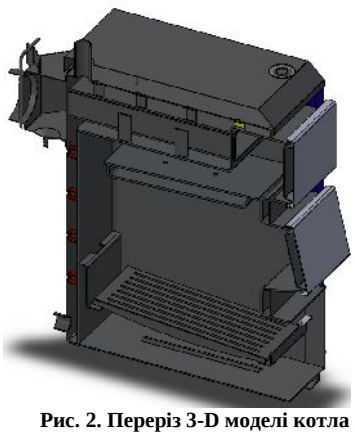


Рис. 2. Переріз 3-D моделі котла АОТВ 16-20Е

АОТВ 16-20Е – це сучасний двоходовий котел, що працює на деревині та вугіллі. Симуляцію

роботи твердопаливного котла проводили за звичайних умов при природній тязі із розрідженням в димоході в 15 Па. Таке розрідження є рекомендованим для стабільної та безпечної роботи АОТВ 16-20Е. Для проведення випробування і симуляції нещільного закривання дверей ми створили спрощену модель корпусу котла, і на загрузочних дверях по висоті почергово створили пази шириною 0.1, 0.5 та 1 мм.

За результатами аналізу було побудовано гістограму яка зображена на рис. 3. По горизонталі відображено ширину пазу δ=0,1 мм. δ=0,5 мм і відповідно δ=1мм. На рис. 4 можна побачити траєкторію потоків газів в середині камери згорання (частина потоків прихована).

У першому випадку кількість продуктів згорання, які покинули камеру згорання через створений паз становили 0,3%. В другому випадку це значення зросло до 0,7%. І в третьому випадку до 0,9%. Враховуючи, що при роботі твердопаливного котла потужністю 20 кВт кількість продуктів згорання при спалювані деревини вологістю 20% становить близько 30 м³/год. Помноживши об'єм на відсоток отриманий при симуляції отримаємо об'єм викидів газів у приміщення котельні: при 0,1 мм – 0,09 м³, при 0,5 мм – 0,21 м³ і при 1 мм – 0,27 м³.

При відсутності вентиляції в приміщені, де знаходиться котел, уже за годину роботи при мінімальній ширині пазу тривале перебування людини може викликати проблеми зі здоров'ям.

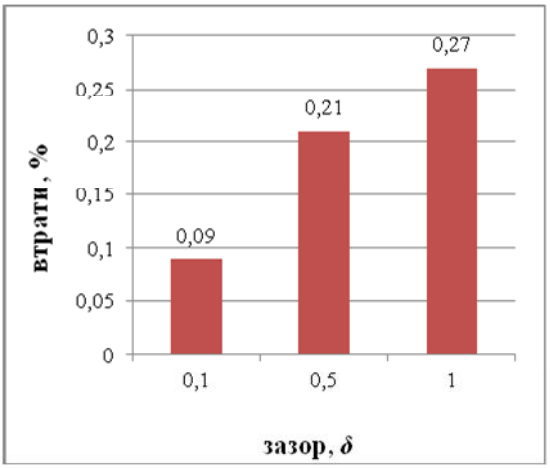


Рис. 3. Результати досліджень втрат

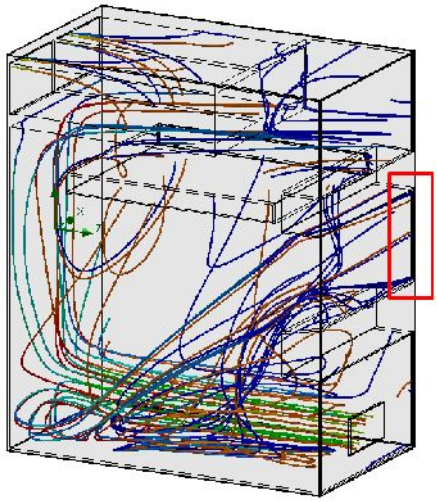


Рис. 4. Траєкторії потоків газів

Першим етапом досліджень було визначення об'єму продуктів згорання вагою 1 кг твердого палива з вмістом $C^p = 52.1\%; H^p = 3.8\%; S^p{}_4 = 2.9\%; N^p = 1.1\%; O^p = 9.1\%$. Для цього необхідно визначити об'єм сухих газів, теоретичний об'єм азоту та об'єм водяної пари.

Об'єм сухих газів:

$$V_{RO_2} = \frac{M_{CO_2}}{\rho^H_{CO_2}} + \frac{M_{SO_2}}{\rho^H_{SO_2}} = 1,866\frac{52.1 + 0,375 \cdot 29}{100} = 0.99 \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (1)$$

Теоретичний об'єм азоту:

$$V_{N_2} = (\frac{V^O_B}{100} \cdot 79) + \frac{N^p}{100\rho_{N_2}} = 0,79 \cdot 5,03 + 0,8\frac{1,1}{100} = 3,98 \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (2)$$

Теоретичний об'єм водяної пари:

$$V^O_{H_2O} = (0,111 \cdot H^p) + 0,0124W^p + 0.0161V^O_B + 1,24W_ф = 0.111 \cdot 3.8 + 0.0124 \cdot 9.1 + 0.161 \cdot 5.03 = 0,62 \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (3)$$

Повний об'єм димових газів:

$$V_Г = V^O_{H_2O} + V_{RO_2} + V_{N_2} + V^O_B(\alpha - 1) = 0,99 + 3,98 + 0,62 = 5,59 \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (4)$$

Теоретично, для спалювання 1 кг твердого палива при α=1 (коефіцієнт надлишку повітря, що показує, у скільки разів кількість повітря, що дійсно надходить у камеру згорання, відрізняється від теоретично необхідної кількості) через димову трубу вийде5,59 м³ димових газів.

Коефіцієнт надлишку повітря залежить від виду палива, що спалюється, способу його спалювання, конструкції камери згорання котла і приймається на підставі експериментальних даних [2, 3].

При спалюванні палива дуже важливо правильно регулювати надходження повітря в камеру згорання котла. Якщо повітря буде надходити мало, то кисню не вистачатиме для повного згоряння палива, і частина горючих газів, що утворюються в топці котла (наприклад, окис вуглецю CO), і незгорілі частки твердого палива будуть видалятись разом із продуктами горіння в димову трубу. Неповноту згорання палива можна виявити по появі чорного диму з димаря. Очевидно, що таке спалювання викликає зайву витрату палива.

Щоб забезпечити повне згорання палива, на практиці доводиться подавати повітря в топку дещо більше, ніж потрібно за розрахунком. Але надмірний надлишок повітря в котлі неприпустимий, так як багато тепла при цьому витрачається на нагрівання зайвого повітря, а також багато тепла виходить через

димову трубу.

Фактична кількість повітря, необхідна для повного згоряння 1 кг палива, має бути трохи більшою теоретичного, так як при практичному спалюванні палива не вся кількість теоретично необхідного повітря використовується для горіння палива; частина його не бере участі в реакції горіння в результаті недостатнього перемішування повітря з паливом, а також через те, що повітря не встигає вступити в зіткнення з вуглецем палива і йде в газоходи котла у вільному стані. Тому відношення фактичної кількості повітря, яке подається в камеру згорання котла, до теоретично необхідного називають коефіцієнтом надлишку повітря.

$$\alpha_T = V_{П.Ф} / V_П , \quad (5)$$

де $V_{П.Ф}$ – фактичний об'єм повітря, поданого в камеру згорання котла на 1 кг палива, $V_П$ – теоретичний об'єм повітря.

Тоді,

$$V_{П.Ф} = \alpha_T \cdot V_П \quad (6)$$

При роботі топок всіх видів необхідно постійно спостерігати за ефективністю процесів горіння по контрольно-вимірювальним приладах. На економічність роботи котла значний вплив мають втрати тепла від хімічної неповноти згоряння палива. Величина втрат залежить в основному від кількості повітря, що надходить в топку.

Як відомо, ККД котла за зворотнім балансом рівний:

$$\eta = 100 - q_2 - q_3 - q_5 , \quad (7)$$

Де q_2 – % втрати тепла з вихідними газами,

q_3 – % втрати тепла від неповного згорання,

q_5 – % втрати тепла в навколишнє середовище.

У цій формулі нас цікавить тільки q_2, q_3. Оскільки α не впливає на q_5. При нестачі повітря з'являється хімічний недопал. Він пояснюється появою в продуктах згоряння чадного газу – СО, сажі, водню – H_2, а в деяких випадках і CH_4. При цьому виділяється лише частина теплоти згорання. Тому і говорять про хімічний недопал.

При цьому з власного досвіду отриманого на ДП КАЗ відомо, що при зниженні втрат тепла з димовими газами - q_2 збільшуються втрати q_3 і згідно з формулою ККД буде різко падати. До того ж робота котла при хімічному недопалі навіть за невеликий час призведе до зниження тепловіддачі, як наслідок відбудеться істотне зниження теплопродуктивності котла і його ККД.

При надлишку повітря паливо згорає повністю, але частина теплоти витрачається на підігрів зайвої кількості повітря. Відбувається зниження температури вихідних газів і внаслідок цього зниження теплової потужності котла та його ККД. Отже при оптимальному значенні α ККД буде рости, внаслідок зменшення втрат q_2, і відсутності втрат q_3.

На рисунку 5 показана залежність втрат q_3 від α промислового котла ДКВр-4-13 на газо генеруючому паливі. Втрати q_2 при α ≥1,2 дорівнюють нулю.

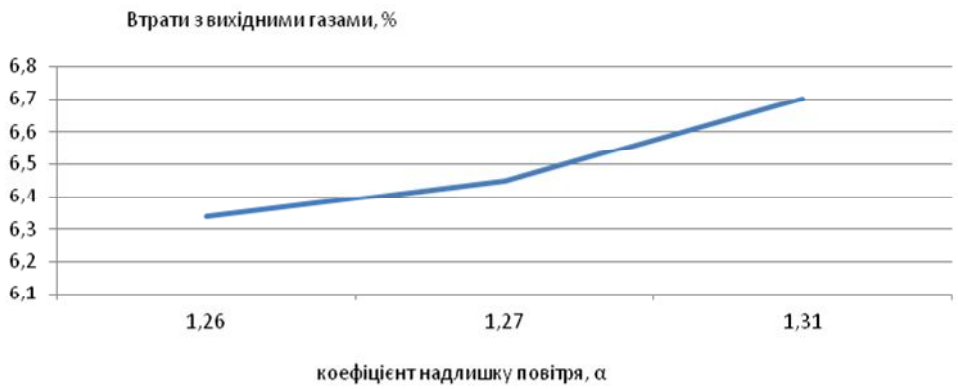


Рис. 5. Залежність втрат тепла від коефіцієнта надлишку повітря

Як видно з графіка, із зменшенням α помітно зростають втрати q_3, особливо при нижніх межах величин α, але знижується q_2, і навпаки, зі збільшенням α величина q_3 зменшується, але різко зростають втрати q_2.

Як бачимо, оптимальна величина буде відповідати випадку, коли сумарні втрати $q_2 + q_3$ будуть мінімальними. В таблиці 1 наведені дані замірів. Для вибору оптимального значення коефіцієнта надлишку повітря (α) було проведено серію дослідів при однаковій загрузці в 77% (так звані приблизні досліди). Серія дослідів представлена на рисунку 1.6 і в таблиці 2. Краще починати з α більше необхідного. Так як буде точно відсутній хімічний недопал. При зниженні тиску повітря на пальники поступово знижуються α і q_2.

Робота котла стає більш економічною. При подальшому зниженню тиску повітря в певний момент з'являється хімічний недопал. Якщо далі знижувати тиск повітря, то q_3 росте дуже швидко. Приблизно точка початку зростання СО буде точкою низу оптимальної зони.

Таблиця 1

Зведені дані замірів

Номер досліду		1	2	3
Склад вихідних газів	O_2, %	4.7	4,9	5,4
	CO, ppm	214	18	30
Склад вихідних газів	O_2, %	4.8	5	5.5
	CO, ppm	202	40	57
Коефіцієнт надлишку повітря за котлом		1,26	1,27	1,31
Коефіцієнт надлишку повітря за водяним економайзером		1,27	1,28	1,32
Втрати з вихідними газами, %		6,34	6,45	6,7

У свою чергу якщо підвищувати тиск повітря на пальники α і q_2 ростуть. Але падає ККД і робота котла неекономічна. Якщо і далі піднімати тиск, то при дуже великому значені α почне з'являється хімічний недопал, і ККД впаде ще нижче. точка початку зростання q_2 буде точкою верху оптимальної зони.

Отже оптимальним варіантом буде дослід № 2. Налаштувавши режим горіння на оптимальне значення α ми можемо отримати підвищення q_2 і як наслідок пониження ККД. Що може бути причиною? Присоси повітря в топку і газохід котла.

Надмірний об'єм повітря збільшує опір тракту, викликає перевантаження димососів і зниження теплопродуктивності і ККД.

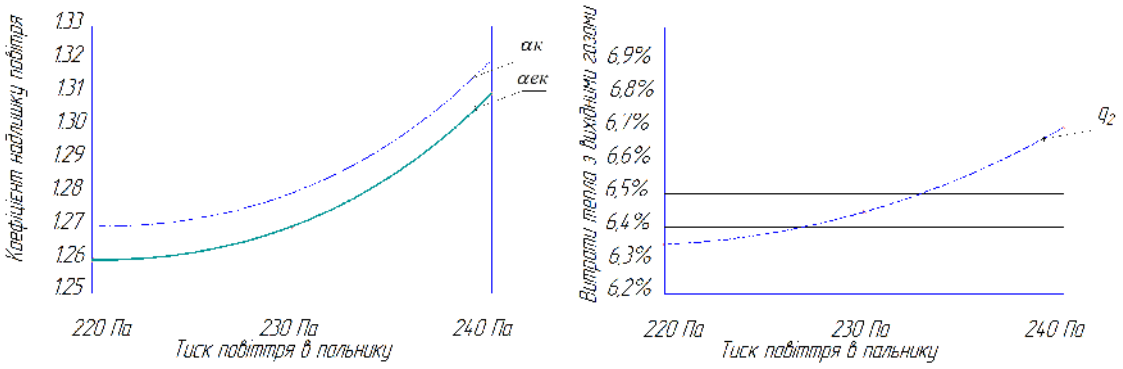


Рис. 6. Графіки залежності $\alpha к$, $\alpha ек$, q_2 від тиску повітря в пальнику

Таблиця 2

Дані для розрахунку

	До	Після
Температура вихідних газів за В.Е.	158,7	152
Коефіцієнт надлишку повітря за В.Е.	1,34	1,28
Втрати з димовими газами	7,02	6,41

Зниження температури газів внаслідок зайвого надходження холодного повітря, що зменшує кількість тепла яке передається випромінюванням.

За експертними оцінками та практичним дослідом, встановлено, що збільшення притоку повітря в камеру згорання на 0,1 знижує кількість віддачі тепла на 4-5%. Зменшення поглинальної здатності тепла поверхнями теплообміну нагрівача викликає перевантаження конвективних поверхонь, чим впливає на температуру димових газів, а саме підвищує температуру.

Наприклад, приток повітря в камеру згорання на $\Delta\alpha = 0,1-0,2$ підвищує температуру газів на $4-8\ ^{\circ}C$.

Присоси повітря в газові канали котла знижують температуру вихідних газів в зоні присосів та знижують кількість тепла, переданого поверхнями теплообміну, розташованих за місцями присосу.

Використовуючи таблицю 2 проведено розрахунок. Зменшуючи приток повітря в камеру горіння можна зменшити q_2 і підвищити ККД. Дані взяті з РНІ котла ДКВР-4-13 при навантаженні в 77% від

максимуму.

Зниження втрат q_2 визначаємо за формулою:

$$\Delta q = \left(\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_1}\right) + \left(\frac{t_1 - t_2}{t_1}\right) \cdot q_2 \quad (8)$$

де α_1 – коефіцієнт надлишку повітря до зменшення присосів повітря;

α_2 – коефіцієнт надлишку повітря після зменшення присосів повітря;

t_1 – температура вихідних газів за В.Е. до зменшення присосів;

t_1 – температура вихідних газів за В.Е. після зменшення присосів.

$$\Delta q = \left(\frac{1.34 - 1.28}{1.34}\right) + \left(\frac{158.7 - 152}{158.7}\right) 7.02 = 0.61\% \quad (9)$$

В результаті зниження притоку повітря ККД котла покращується на 0,61%.

На основі патентного пошуку та власного досвіду була запропонована наступна конструкція механізму запирання камери згоряння твердопаливного котла (рис. 7). Механізм складається з 21-ї деталі. Більшість деталей є рухомими для забезпечення регулювання дверей.

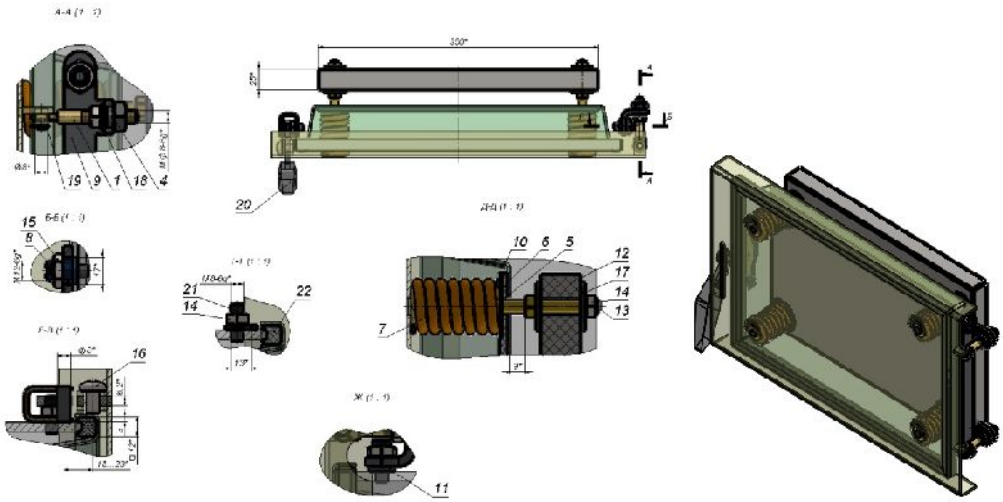


Рис. 7. Механізм запирання котла

Основною складальною одиницею дверей , на яку фіксуються більшість деталей являється дверцята (поз. 2). Дверцята оснащені чотирма втулками з внутрішньою різьбою для кріплення деталей поз. 5, 6, 7, 10, 12, 13, 14, 17. На зовнішній діаметр втулок монтуються пружина (поз. 7), після чого встановлюється упорна шайба (поз. 10).

Після монтажу упорної шайби (поз. 10) одівається екран (поз. 5) з попередньо вмонтованою базальтовою прокладкою, для теплоізоляції пружин від дії тепла в камері згорання котла. Після монтажу екрана монтуються чотири гвинта (поз. 13) які «зшивають» встановлені деталі та дверцята (поз. 2). Після монтажу гвинта (поз. 13) на упорну грань шестигранної частини гвинта одівається шайба (поз. 17) на верх якої вмонтовується шамотна плита (поз. 12) з попередньо зробленими отворами ∅10 мм. Шамотна плита фіксується шайбою (поз. 17) та гайкою М8 (поз. 14). Використання шамотної плити знижує вплив температури на механізм, що збільшує експлуатаційний період. Гвинтами (поз. 13) регулюється стискання пружин (поз. 7) та екрана (поз. 5) до дверцят (поз. 2).

Механізм повороту складається з скоби (поз. 9) яка кріпиться на шпильки М8, що попередньо зафіксовані в корпусі котла. Але попередньо на верхнє кріплення накручується регулятор відхилення (поз. 8). На нижнє кріплення одівається шайба (поз. 11) для вирівнювання скоби (поз. 9). Після чого скоба фіксується двома гайками (поз.14 та поз. 15). Після закріплення скоби (поз. 9) через отвори в ній проходять гвинти (поз. 1) з накрученою гайкою (поз. 14). З іншої сторони фіксується накручується гайка натягу (поз. 4), що дозволяє регулювати виліт гвинта (див. переріз А-А).

Після складання механізму повороту необхідно за допомогою осей (поз.) навісити двері через отвори в вушках на гвинтах (поз. 1). Після навішування дверей за допомогою упорної шайби (поз. 19) зафіксувати осі для запобігання вильоту.

Після монтажу дверей на гвинти встановити в паз в дверях ручку котла (поз. 20) та зафіксувати гвинтом (поз. 16).

При закриванні дверей термоізоляційний шнур (поз. 22), що знаходиться в канавці екрана (поз. 5) впирається в вікно котла. Після чого пружини (поз. 7) стискаються та створюють необхідне зусилля для герметичності котла. Екран (поз. 5) від дією сил стискання пружин деформується та приймає потрібну

форму. Регулювання куту нахилу дверцят відносно горизонту здійснюється за допомогою регулятора відхилення (поз. 8) провертаючи його по внутрішній різьбі. Регулювання притискання дверей здійснюється через переміщування гайки (поз. 14) та гайки натягу (поз. 4) по різьбі гвинта (поз. 1).

Для забезпечення герметичності камери згорання та ревізійної камери використовуємо термоізоляційний шнур IZOPAK-57 квадратного профілю 12х12 мм. Відповідно до технічних характеристик наданих виробником, необхідне зусилля для забезпечення герметичності при використані термоізоляційного шнуру IZOPAK-57 0,3…0,4 МПа.

Для розрахунку необхідного зусилля запирання дверей потрібно визначити площу контакту термоізоляційного шнура IZOPAK-57 та корпусу котла. З попереднього розділу відомо, що внутрішні розміри вікна котла 250х390 мм, товщина стінки металу 6мм. Площа контакту визначається за формулою (мм^2):

$$S_k = 2((l+2t)t + h\cdot t) = 2((390+2\cdot 6)6 + 250\cdot 6) = 7824 \quad (10)$$

Для розрахунку вибираємо більше значення, для точного забезпечення герметичності котла при роботі. Також для надійності при розрахунку деталей навантаження збільшимо на 25% для надійності.

На рисунку 1.8 схематично розміщені точки кріплення дверцят, на які буде розповсюджуватись навантаження від пружин.

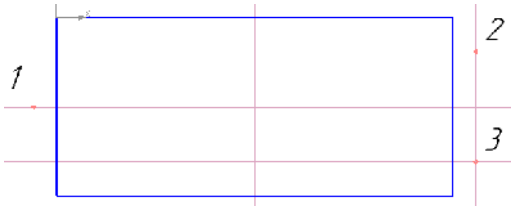


Рис. 8. Розміщення точок закріплення механізму запирання

Оскільки точки 1 та 2,3 розміщені симетрично відносно центра вікна котла, то для спрощення розрахунку приймаємо, що зусилля яке виникає в точці 1 дорівнює сумарному зусиллю в точці 2 та 3. Також, оскільки точки 2 та 3 розташовані симетрично відносно центра вікна то приймаємо, що зусилля в цих точках рівне.

$$P_1 = P_2 + P_3; \quad P_2 = P_3. \quad (11)$$

Сумарне зусилля, що виникає при роботі пружин стискання дорівнює:

$$P_{сум} = S\cdot P_ш; \quad P_{сум} = 7824\cdot 0,4; \quad P_{сум} \approx 3130H. \quad (12)$$

Враховуючи коефіцієнт запасу міцності 1,25 ми отримуємо:

$$P_p = P_{сум}\cdot 1.25 = 3130\cdot 1.25 = 3912H. \quad (12)$$

Зусилля які виникають в точках 1,2 та 3 дорівнюють:

$$P_1 = P_p / 2 = \frac{3912}{2} = 1956H.$$
$$P_2 = P_3 = \frac{P_1}{2} = \frac{1956}{2} = 978H. \quad (12)$$

Висновки

На основі аналізу існуючих конструкцій твердопаливних котлів запропонована нова конструкція механізму запирання котла, що забезпечує стабільне герметичне запирання камери згорання за рахунок податливого екрану та можливості регулювання відносно вікна в трьох напрямках. Отримані результати передано для впровадження на ДП КАЗ (м. Красилів) при проектуванні та серійному випуску твердопаливних котлів «Корді».

Література

1. Трембовля В. И. Теплотехнические испытания котельных установок / В. И. Трембовля, Е. Д. Фигнер. – М. : Энергия, 1977. – 296 с.

2. Стаскевич Н. Л. Справочник по газоснабжению и использованию газа / Стаскевич Н. Л. – Л. : Недра, 1990. –762 с.

3. Янкелевич В. И. Наладка газа-мазутных промышленных котельных / В. И. Янкелевич. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 216 с.

4. Равич Р. Б. Эффективность использования топлива / Равич Р. Б. – М. : Наука, 1977. – 344 с.

References

1. Trembovlia V. Y. Teplotekhnycheskye yspytanyia kotelnыkh ustanovok / V. Y. Trembovlia, E. D. Fyhner. – M. : Enerhyia, 1977. – 296 s.

2. Staskevych N. L. Spravochnyk po hazosnabzhenyiu y yspolzovanyiu haza / Staskevych N. L. – L. : Nedra, 1990. – 762 s.

3. Iankelevych V. Y. Naladka haza-mazutnykh promыshlennykh kotelnykh / V. Y. Yankelevych. – M. : Enerhoatomyzdat, 1988. – 216 s.

4. Ravych R. B. Effektyvnost yspolzovanyia toplyva / Ravych R. B. – M. : Nauka, 1977. – 344 s.

Рецензія/Peer review : 16.02.2018 р. Надрукована/Printed :27.03.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 685.34.035.5; 675.02; 675.03

М.П. ЖАЛДАК, О.Р. МОКРОУСОВА
Київський національний торговельно-економічний університет

ЧИННИКИ ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ НАТУРАЛЬНИХ ШКІР ДЛЯ ВЕРХУ ДИТЯЧОГО ВЗУТТЯ

Проведено комплексний аналіз чинників формування якості та безпечності натуральних шкір для верху дитячого взуття. Проаналізовано вплив шкіряної сировини та технологічних етапів виготовлення натуральних шкір на показники якості та безпечності готових шкір. Запропоновані шляхи вибору шкіряної сировини та коригування технологічних параметрів виробництва натуральної шкіри при використанні ресурсозберігаючих та екологічно орієнтованих технологій.

Ключові слова: взуттєві матеріали, натуральна шкіра, шкіряна сировина, методи консервування, етапи виготовлення натуральної шкіри, якість натуральної шкіри, безпечність шкіри.

M.P. ZHALDAK, O.R. MOKROUSOVA
Kyiv National University of Trade and Economics

FACTORS OF FORMING QUALITY AND SAFETY OF LEATHER FOR TOP CHILDREN'S SHOES

The aim of the article is to study the components of forming quality and safety of leather for children's shoes for selection of leather raw materials and improvement process. The raw material for the production of leather for the top of children's shoes is the skins of cattle, for the interior details of the footwear used lining skins from hides of pigs. Many factors contribute to the formation of skin properties, including the species and breed of animals, their age, sex, conditions of maintenance and feeding, the nature and quality of primary processing of raw materials, etc. The main factor that directly forms the indicators of quality and safety of genuine leather for children's shoes is the technological process. With the help of the technological process, animal skins are transformed into natural skin, structure of collagen of the dermis is formed, the skin acquires high physical, mechanical and hygienic properties inherent to it, in comparison with other materials, making it the most promising shoe material, including for making shoes for the baby. Technological treatments for the production of the skin are divided into liquid processes (carried out in a water environment using chemical materials) and mechanical operations (changing the form of the processing structure of the dermis). Which have a number of rates and clear boundaries, the failure to which can lead to a number of defects of the leg, semi-finished or finished leather for children's shoes. A comprehensive approach to solving the issues of creating the quality and safety of leather for children's shoes should be based on a targeted selection of leather raw materials and adjustments to the technological process of production of leather and the use of resource-saving and environmental technologies.

Key words: *shoe materials, leather, leather raw materials, preservation methods, stages of manufacturing of leather, quality of leather, skin safety.*

Постановка проблеми

На сьогодні для виготовлення дитячого взуття використовують різні взуттєві матеріали (натуральна та штучна шкіра, текстильні та полімерні матеріали тощо). Однак, найперспективнішим взуттєвим матеріалом для виготовлення взуття, в тому числі дитячого, є натуральна шкіра.

Для верху і підкладки взуття в 60 % загального випуску використовують натуральну шкіру; понад 50 % – шкіряну устілку; понад 20 % – шкіряну підошву; усе взуття з верхом із синтетичних шкір складає 4,5 % від загального обсягу виробництва, яке виготовляють зі шкіряною підкладкою, і лише 10 % від усього асортименту становить продукція із штучної шкіри. Це переважно взуття шкільної статево-вікової групи (напівчеревики, туфлі), де штучну шкіру комбінують з натуральними матеріалами. Текстиль зазвичай використовують у виробництві домашнього взуття, частка виробництва якого в Україні – майже 20 % [1].

Виробництво натуральної шкіри передбачає використання різних хімічних матеріалів, які забезпечують створення необхідних фізико-механічних та гігієнічних властивостей. Однак, частина цих матеріалів може залишатися у структурі дерми шкіри, чим обумовлює ймовірність виникнення небезпечних факторів для організму дитини.

Актуальним вирішенням цього питання є комплексний аналіз та обґрунтування чинників формування якості та безпечності натуральної шкіри, з метою якісного відбору шкіряної сировини та коригування технологічних параметрів виготовлення натуральної шкіри.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Результати аналізу літературних джерел [1–5] свідчать, що проблемі якості та безпечності натуральних шкір присвячена значна кількість робіт таких фахівців, як А.В. Селезньової, О.Р. Мокроусової, О.А. Андреєвої, О.А. Охмат, Л.А. Майстренко, Л.І. Демкевич, В.І. Ліщука, Е.Є. Касьян. Однак у працях науковців і провідних фахівців шкіряної галузі не застосований комплексний підхід щодо вивчення чинників формування якості та безпечності натуральних шкір для дитячого взуття, що, у свою чергу, підтверджує актуальність даної теми.

Метою роботи є обґрунтування чинників формування якості та безпечності натуральних шкір для дитячого взуття.

Матеріали та методи. Об'єкт дослідження – чинники формування якісної структури та властивостей натуральних шкір, параметри технологічних процесів виробництва шкір.

Використано загальнонаукові та спеціальні методи: аналізу та синтезу, системного підходу, порівняння та узагальнення. Інформаційна база дослідження – наукові праці вітчизняних та зарубіжних вчених шкіряної галузі, теоретичні видання з основ виробництва шкіри, технології виробництва шкір для верху взуття [1–7].

Результати дослідження

До чинників, які безпосередньо формують якість та безпечність натуральних шкір для дитячого взуття, належать характеристика шкіряної сировини та параметри технологічних процесів її переробки в шкіру.

Основною сировиною для виробництва шкіри для верху дитячого взуття виступають шкури великої рогатої худоби (ВРХ), для внутрішніх деталей взуття застосовують підкладкові шкіри, переважно, із шкур свиней. На формування властивостей шкіри впливає безліч факторів, в тому числі й вид і порода тварин, їхній вік, стать, умови утримання і годування, характер і якість первинної обробки сировини тощо.

Якість та безпечність натуральних шкір для дитячого взуття залежать, в багатьох випадках, від первинної обробки шкур забійних тварин, неправильне виконання якої може призвести до появи дефектів сировини (прілина, ороговіння, сольові плями, почервоніння, горілість тощо), які, в кінцевому результаті, ускладнять технологічний процес та знизять корисну площу та сорт готових шкір.

Первинна обробка включає: забій тварин, знімання шкури, оббілування (видалення зі шкури обважнювачів та частин, з яких не виробляється шкіра), знежирення (видалення жиру, який при зберіганні шкури окислюється) та консервування, за допомогою якого знижується температура шкури та частково видаляється волога [4]. Основним процесом первинної обробки шкіряної сировини виступає консервування, яке забезпечує тривале зберігання напівфабрикату, запобігає інтенсивному розвитку бактерій та плісеневих грибів.

Ефективність консервування шкур обумовлена: зневодненням, підвищенням осмотичного тиску, зміною pH середовища, антисептиків або заморожуванням [2]. Методи консервування наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Методи консервування шкур та їх характеристика

№	Методи консервування	Характеристика методу	Недоліки	Вид шкіряної сировини	Географічний регіон найбільшого використання
1.	Прісно-сухий метод	висушування шкур на повітрі влітку, а взимку у спеціально вентильованих приміщеннях	сировина зазнає пошкоджень від гризунів, займає великий об'єм при зберіганні, ламається при транспортуванні	використовується для дрібної сировини	Східна Азія та Африка
2.	Заморожування	виконують шляхом вивішування шкур на морозі в розправленому вигляді міздряною стороною назовні	заморожена сировина крихка, має дефект у вигляді білих плям (вимерзність), які не піддаються подальшій обробці	використовується для дрібної сировини	Північні регіони
3.	Мокросолений спосіб (засолюванням у розстил (сухим засолом) і тузлукуванням	полягає в обробці шкур сухим хлоридом натрію або концентрованим розчином хлориду натрію	під час зберігання мокросолених шкур з'являються дрібні червоні або сольові плями, бактеріальне ушкодження	використовується для великої рогатої худоби, шкур свиней та дрібної сировини	Європа, Америка
4.	Сухосоління	шкури засолюють у розстил з розчином хлориду натрію менших витрат (порівняно з мокросоленим), а потім підсушують	висока гігроскопічність шкур (у вологих умовах вони швидко псуються)	використовується для дрібної сировини	Південні регіони

Наведена характеристика методів консервування шкіряної сировини (табл. 1) визначає важливість правильної первинної підготовки у подальшому перетворенні шкури у шкіряний напівфабрикат. Варто також відмітити про можливі недоліки кожного з методів і звернути увагу на останні два, адже у мокросоленому та сухосоленому методах консервування основною умовою є використання хлориду натрію, який забруднює навколишнє середовище через засолювання стічних вод.

Для вирішення цієї проблеми науковцями шкіряної галузі було розроблено методи нетривалого консервування шкур, застосування біоцидів – речовин, які здатні зупинити або ліквідувати дію мікроорганізмів на сировину і є екологічно орієнтованими [2]. Використання розробленого методу допомагає скоротити витрати використання хлориду натрію для консервування та зменшити їх шкідливий вплив на екологію.

Основним чинником, який безпосередньо формує показники якості та безпечності натуральних шкір для дитячого взуття є технологічний процес. За допомогою технологічного процесу шкури тварин перетворюються на натуральну шкіру, формується мікро- і макроструктура колагену дерми, шкіра набуває притаманних їй високих фізико-механічних та гігієнічних властивостей, порівняно з іншими матеріалами, що робить її найбільш перспективним взуттєвим матеріалом, в тому числі, для виготовлення взуття для

дитини.

Технологічний процес шкіряного виробництва включає сукупність різноманітних обробок сировини і напівфабрикату, які поділяють на рідинні процеси (здійснюються у водному середовищі із застосуванням хімічних матеріалів) та механічні операції (змінюють форму оброблювальної структури дерми).

В цілому, технологічний процес виробництва шкіри поділяють на три етапи: підготовчий, дубильний та оздоблювальний (рис. 1). До підготовчого етапу відносять відмочувально-зольні та переддубильні процеси (рис. 2). Їх основне спрямування – це підготовка структури дерми до процесу дублення, що полягає у видаленні міжволоконних білків, формуванні необхідних розмірних та зарядних характеристик структурних елементів дерми та активізації функціональних груп колагену до зв'язування з дубителем. Фіксація підготовленої структури дерми забезпечується процесом дублення та завершується під час додублювання шкіряного напівфабрикату, що забезпечується на дубильному етапі виробництва шкіри. Після дублення шкіра набуває стійкості до зовнішніх впливів, має сформовану капілярно-пористу структуру та необхідний рівень температури зварювання. Оздоблювальний етап включає процеси рідинного оздоблення (фарбувально-жирувальні процеси), сушильно-зволожувальні процеси та покривне фарбування (рис. 2).

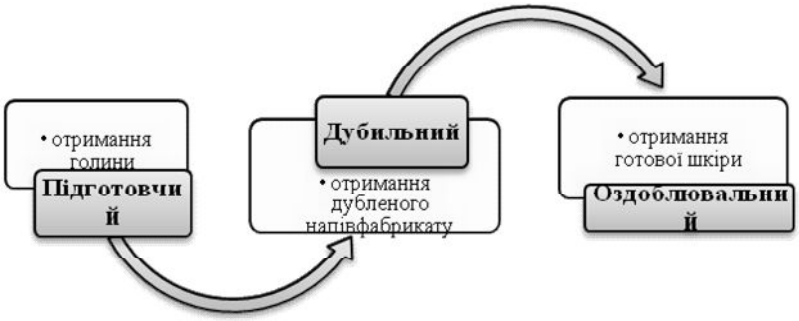


Рис. 1. Етапи шкіряного виробництва

Рис. 2.Технологічна схема виробництва натуральної шкіри для взуття

Типова технологічна схема виробництва натуральної шкіри для верху взуття зображена на рис. 2.

Шкіряне виробництво включає сукупність різноманітних обробок сировини і напівфабрикату, що виконуються у певній послідовності [6]. Технологічні обробки виробництва шкіри поділяють на рідинні (промивка, відмочування, зоління, дублення тощо) та механічні процеси (міздріння, двоїння, шліфування, пресування тощо).

Ефективність технології виготовлення натуральної шкіри залежить від рівня проведення відмочувально-зольних і дубильних процесів. Для ефективної фіксації структури колагену в процесі дублення необхідно забезпечити помірний ступінь набрякання дерми під час зоління. Це забезпечить формування шкіри певного призначення з максимальним використанням шкіряної сировини [3].

Основним завданням відмочувально-зольних процесів (табл. 2) є очищення шкіряної сировина, яка надходить на переробку, від консервувальних речовин, волосяного покриву та епідермісу, з метою отримання якісної шкіряної сировини (голини), яка може бути придатною для подальшої обробки.

Таблиця 2

Чинники, які впливають на відмочувально-зольні процеси та операції

№	**Чинники**	**Процес/операція**	
		Відмочування	**Зоління**
1.	Температура, ^{o}C	27-29	23-26
2.	Тривалість, год.	5,0-8,0*	7,5-10,0**
3.	Рідинний коефіцієнт	1,5-4,0	1,3-1,5
4.	Кислотність, pH	4,0–5,0	У відпрацьованій зольній рідині pH=11,5-12,5
5.	Матеріали та їх витрати, %	Карбонат натрію 0,3-0,5; ПАР – 0,5	Гідроксид кальцію (64 %) 3,7-4,2; гідросульфід натрію – 1,2-1,4; сульфід натрію (65%) – 1,2-1,4
6.	Механічні дії	Сприяють значному прискоренню відмочування, рівномірному обводненню шкури, а також уповільнюють розвиток бактерій	Вирівнюють концентрацію лужних реагентів, особливо гідроксиду кальцію; прискорюють дифузію матеріалу у середину дерми
7.	Інші	–	*Стійкість суспензії* гідроксиду кальцію Чим вище ступінь дисперсності гідроксиду кальцію, тим більша стабільність суспензії, вища розчинність гідроксиду кальцію та інтенсивніше його поглинання шкурою

*Примітка 1 – опойок – 5,0-6,0 год.; виросток – 6,0-7,0 год.; півшкурок 7,0-8,0 год.;
**Примітка 2 – опойок – 7,5-8,0 год.; виросток – 8,0-9,0 год.; півшкурок 9,0-10,0 год.

Неправильне здійснення відмочувально-зольних процесів та операцій призводить до виникнення різних дефектів голини, таких як стяжка лицьового шару і жорсткість готової шкіри. При надмірному відмочуванні шкур відбувається сильне вимивання білків, що спричинює пухкість і дряблість дерми, а також пухлинуватість готової шкіри.

Тривале перебування золеної голини на повітрі призводить до виникнення вапняних плям, що є результатом взаємодії гідроксиду кальцію дерми з вуглекислим газом повітря, та причиною жорсткої і ламкої шкіри. Різке зниження температури, підвищення лужності рідини чи концентрації реагентів, надмірні механічні дії спричиняють нерівномірне набухання сосочкового та сітчастого шарів дерми і виникнення зольної стяжки –характерних складок і зморшок на лицьовій поверхні шкіри [4].

Переддубильні процеси (табл. 3), які включають знезолювання, м’якшення та пікелювання є короткостроковими та спрямовані на безпосередню підготовку голини до процесу дублення. Під час знезолювання видаляється гідроксид кальцію, ліквідується бубнява колагену, після чого на відпрацьованій рідині виконується м’якшення голини. Для цього використовують ферментні препарати, які сприяють тонкому розволокненню структури дерми та видаленню гнейсту.

Використання на процесі пікелювання кислоти та солі забезпечує зниження pH структури, активізацію карбоксилних груп колагену та формування проникності дерми для ефективної дифузії дубильних сполук хрому (переважно здійснюють хромове дублення у виробництві шкір для верху взуття).

Після переддубильних процесів голина надходить на хромове дублення (табл. 3) – один з найважливіших процесів виробництва шкіри. Цей процес змінює фізико-хімічні та механічні властивості дерми, надає стійкість до дії вологи й термічних і хімічних впливів при цьому утворюється дублений напівфабрикату, який після проходження фарбувально-жирувальних процесів та оздоблювальних операцій, стане готовою шкірою.

Після процесу дублення здійснюють пролежування шкіряного напівфабрикату тривалістю 12 год, для чого його розстеляють на піддони і вкривають поліетиленовою плівкою, далі віджимають до вологості 55-60 % на віджимній валковій машині.

Таблиця 3

Чинники, які впливають на переддубильно-дубильні процеси та операції

№	Чинники	Процес/операція			
		Знезолювання	**М'якшення**	**Пікелювання**	**Дублення**
1.	Температура, °С	Початкова – 25-27, кінцева – 35-37	35-37	20-22	20-22
2.	Тривалість, год	1,0-1,5	1,0-1,5	3,0- для здвоєної голини, 6,0-7,0 – для недоєної голини	10-12
3.	Рідинний коефіцієнт	1,2	1,2	0,6-1,0	0,7-0,8
4.	Кислотність, pH	7,0-8,3	М'якшильного розчину – 7,8-8,5	3,5-4,5	pH зрізу напівфабрикату 3,8-4,2
5.	Матеріали та їх витрати, %	Сульфат амонію 2,5-3,5	Панкреатин технічний активність 600 од./г) – 0,02-0,03 чи протосубтилін ГЗ*х*(активність 7од./г) – 0,2	Хлорид натрію 6-7; мурашина кислота (85%) - 0,3 чи форміат натрію - 0,6; сірчана кислота (100%) – 0,7-0,8 (для двоєної голини) та 0,8-1,2 (для недвоєної голини)	Дубитель хромовий (основність 36-42%) - 1,7-2,0 Cr_2O_3; карбонат натрію – 0,25 чи гідрокарбонат натрію 0,4-0,5.
6.	Механічні дії	При обробці голини в рухомій апаратурі знижується активність ферментів	При обробці голини в рухомій апаратурі знижується активність ферментів	Сприяють швидшому поглинанню і дифузії кислоти й солі	Позитивно впливають на проникнення дубильних сполук в дерму
7.	Інші	–	–	*Вид, щільність і товщина* - чим товща і щільніша голина, тим довше виконується пікелювання	*Розмір дубильних частинок* - впливають на швидкість дифузії (проникнення дубителя)

Механічні обробки напівфабрикату у переддубильно-дубильних процесах включають:

- двоїння (за необхідності) – піддається обробці напівфабрикат, отриманий з не двоєної голини, товщина повинна бути на 0,4-0,6 мм більшою напівфабрикату після стругання;
- стругання – товщина напівфабрикату після стругання повинна бути на 0,4-0,6 мм більша за товщину готової шкіри;
- обрізання – вручну або електроножицями обрізаються бахрома та непридатні крайові ділянки.

Порушення технологічних параметрів виконання переддубильних та дубильних процесів та операцій призводить до виникнення наступних дефектів:

- отримання жорсткої, ламкої дерми (недостатнє знезолювання);
- отримання пухких і неміцних шкір з пухлинуватою лицьовою поверхнею (надмірне знезолювання);
- отримання голини з брудною, недостатньо пластичною і шорсткою лицьовою поверхнею (недостатнє м'якшення), в подальшому, готові шкіри з такої голини будуть жорсткими і плоскими;
- отримання голини надмірно пластичної та плюсклої (при надмірному м'якшенні). Причинами можуть бути висока температура (понад 38°С) робочої рідини; велика витрата пом'якшувача і надмірна;
- отримання пухлинуватості шкіри (під час пікелювання голини збільшено температуру вище 30 °С);
- стяжка та садка лицьового шару, намини, складки і зморшки (неправильне здійснення процесу дублення голини) [4].

Наступним технологічним етапом є рідинне оздоблення дубленого напівфабрикату, яке включає фарбувально-жирувальні процеси (табл. 4). На даному етапі шкіра стає рівномірною за товщиною та щільністю в топографічних ділянках, досягається її висока стійкість до стирання та водопроникність.

Наступним технологічним етапом є переробка дубленого напівфабрикату, що включає фарбувально-

жирувальні процеси (табл. 4), за допомогою яких шкіра за топографічними ділянками стає рівномірна як за товщиною, так і за щільністю, досягається висока стійкість до стирання та висока водопроникність.

Таблиця 4

Чинники, які впливають на фарбувально-жирувальні процеси та операції

№	Чинники	Процес/операція				
		Додублювання	Нейтралізація	Наповнювання	Фарбування	Жирування
1.	Темпера тура, ^{o}C	32-35	32-35	35-40	20-23 поч. 55-60 кінц.	55-60
2.	Тривалість, год	1,5-2,0	1,0	1,5-2,0	1,5-3,0	1,5-2,0
3.	Рідинний коефіцієнт	0,8-1,0	1,5-2,0	0,8-1,0	При фарбуванні в чорний колір2,0-2,5 При фарбуванні у світлі, яскраві кольори 2,5-3,0	0,8-1,5
4.	Кислотність, pH	3,5-4,5	5,0-6,0 робочого розчину	6,5-7,0	3,5-5,5**	7,8-8,2
5.	Матеріали та їх витрати, %	Хромовий дубитель основністю 36-42% - 1,0-1,2 Cr_2O_3; карбонат натрію - 0,1.	Форміат натрію – 0,6-1,0; гідрокарбонат натрію – 0,6-1,0	Органічні дубителі – 4,0-5,0 в перерахунку на таніди чи дубильні	Аніонні барвники відповідно до кольору 1,5-4,0; кислота мурашина (85%) – 1,0-1,8 чи оцтова (60%) – 1,5-2,0	Жирувальні матеріали (100 %)*
6.	Механічні дії	Інтенсифікують процес	Інтенсифікують процес	Інтенсифікують процес	Сприяють ефективній дифузії барвників та їх рівномірному зв'язуванню	Приводять до підвищення стійкості емульсії і її здатності проникати в дерму
7.	Інші	–	–	–	*Присутність вирівнювальних речовин* сприяє отриманню рівномірного забарвлення дерми *Якість води* Жорстка вода викликає часткове осадження барвників. Тому для фарбування використовують м'яку воду.	–

*Примітка 1 - для сушіння у вільному стані – 3,4-4,0 % (опойок); 4,0-4,5 % (виросток); 4,5-5,5 % (півшкурок); для інших видів сушіння - 4,0-4,5 % (опойок); 4,5-5,0 % (виросток); 5,5-6,0 % (півшкурок).

**Примітка 2 – pH для кислотних барвників 4,5-5,0; для прямих і металовмісних, складу 1:2 - 5,0-5,5; для металовмісних, складу 1:1 - 3,5-4,5.

Недотримання технологічних режимів фарбувально-жирувальних процесів та операцій на дубленому напівфабрикаті призводить до виникнення різних дефектів:

- жорсткість і садка шкіри – результат недостатньої нейтралізації напівфабрикату;
- пухлинуватість і пухкість шкіри – наслідок недостатнього додублювання та наповнювання при низькій витраті реагентів, а також при неправильному їх підборі;

- мазкість – результат поганого зв'язування барвника з напівфабрикатом та поганого промивання після фарбування;
- сірість – внаслідок використання надто жорсткої води та при недостатній витраті барвників;
- жорсткість шкіри обумовлена недостатнім поглинанням дермою жирових речовин внаслідок неякісної нейтралізації, передчасного розшарування емульсії або поганого підбору компонентів емульсії [4].

Після завершення рідинних обробок шкіряний напівфабрикат надходить на сушильно-зволожувальні операції, під час яких з нього видаляється зайва і рівномірно розподіляється залишкова волога. В наслідок чого змінюються у напівфабрикаті структурно-механічні й фізико-хімічні властивості, що істотно впливає на якість готових шкір для дитячого взуття.

Неправильне проведення сушіння та зволожування напівфабрикату (відхилення від режиму) призводить до підвищення пухлинуватості, жорсткості та виникнення інших дефектів, характерних для певного способу сушіння [4].

Заключним етапом перетворення дубильного напівфабрикату у шкіру є оздоблювання лицьової поверхні шкіри, який включає такі операції як: розведення, тяжка, шліфування та знепилювання, пресування, прокатування, розбивання, а також покривне фарбування. Після оздоблення шкіра набуває необхідного зовнішнього вигляду та відповідних пружно-пластичних властивостей. До чинників, які впливають на якість процесу оздоблення належать: вологість напівфабрикату, тривалість та температура, параметри для проведення механічних обробок є різними.

Відхилення від установлених параметрів обробки оздоблювальних операцій призводить до появи різноманітних дефектів:

- при розведенні сильно віджатого напівфабрикату на лицьовій поверхні залишаються нерозгладжені складки від віджимної машини, а іноді порізи та пошкодження лицьової поверхні у місцях складок. Надмірна вологість напівфабрикату знижує ефект розведення і шкіра отримується надто тягучою;
- тяжка напівфабрикату з недостатньою чи надмірною вологістю знижує ефект обробки і є причиною появи жорсткості шкіри. Тяжка нерівномірно висушеного та зволоженого напівфабрикату призводить до отримання шкір з нерівномірною м'якістю та тягучістю;
- інтенсивне розбивання в барабані призводить до отримання пухкого і пухлинуватого напівфабрикату. При розбиванні надто вологих шкір може зникнути ефект нарізування мережівки. При недостатній вологості напівфабрикату знижується ефект розбивання і отримуються жорсткі шкіри;
- недостатнє та нерівномірне шліфування призводить до отримання нерівної лицьової поверхні з багатьма дефектами, які не перекриваються покривною плівкою. При надто глибокому шліфуванні розкриваються пори лицьового шару і збільшується усмоктувальна здатність напівфабрикату;
- пресування надто вологого напівфабрикату є причиною отримання матовості покриття або утворення матових плям на різних ділянках шкіри. Надто висока температура і тиск при пресуванні, а також недостатній вміст воскової емульсії у покривній фарбі може призвести до прилипання покриття до поверхні плити преса і часткового відривання покривної плівки від шкіри.
- прокатування надмірно зволоженого напівфабрикату призводить до утворення на поверхні шкіри нерівностей, плям і зниження ефекту прокатування. При недостатній вологості напівфабрикат ущільнюється слабо [4].

В цілому, технологічний процес виготовлення натуральної шкіри для взуття, в тому числі для дітей, представляє сукупність рідинних та механічних обробок. Кожна з яких має ряд чинників та чіткі межі, недотримання яких може призвести до ряду дефектів голини, напівфабрикату або готової шкіри. Тому дотримання та корегування (за необхідності) технологічних параметрів шкіряного виробництва дозволяє отримати якісну та безпечну натуральну шкіру для дитячого взуття.

Варто відмітити, майже 80-90 % шкір у світі виробляються з використанням сполук хрому. Це пов'язано з надійністю технологічного процесу, високими технологічними та експлуатаційними властивостями шкір хромового дублення, можливістю виробництва товарів різного асортименту [7]. Однак хромове дублення поряд з перевагами має ряд і недоліків, головними з яких є хромвмісні відходи, після шкіряного виробництва до 40 % сполук хрому залишається у стічних водах, відповідно, їх очистка потребує дороговартісних технологій.

Контактна алергія на хром є третьою найпоширенішою металевою алергією, після алергії на нікель та кобальт, що впливає приблизно на 1–3 % населення Європи [8]. Тому актуальним вирішенням цього питання є впровадження ресурсозберігаючих та екологічно орієнтованих технологій з використанням поліфункціональних матеріалів на основі природних високодисперсних мінералів (наприклад монтморилоніт) для рідинного та покривного оздоблення шкір. До того ж мінерали, маючи високорозвинену питому поверхню, полідисперсність та біполярну природу поверхні здатні проникати на різні структурні рівні колагену дерми та взаємодіяти з активними його групами та надавати шкірам підвищеного рівня гігієнічних властивостей та міцності [5].

Висновки

Робота присвячена дослідженню чинників формування якості та безпечності натуральних шкір для верху дитячого взуття. Показано важливість первинної обробки шкіряної сировини та дотримання параметрів технологічного процесу її перетворення у формуванні показників якості та безпечності готових шкір. Обґрунтовано вплив виду первинної обробки на збереження якості сировини для виробництва шкіри з

урахуванням поширеного використання для певного географічного регіону та виникнення можливих дефектів. Проведено аналіз типової технологічної схеми виробництва шкір для верху взуття, в тому числі, для дитячого. Виділено основні етапи технологічного процесу, їх суть, значення та вплив на трансформацію колагенової структури дерми у формування відповідної структури та властивостей шкіри. Систематизовано перелік основних чинників, що є характерними для процесів підготовчого, дубильного та оздоблювального етапів. Показано роль температури, тривалості, pH, витрат та виду хімічних матеріалів, механічних обробок та інших параметрів для рідинних обробок відмочувально-зольних, переддубильних, дубильних та фарбувально-жирувальних процесів, а також для механічних обробок та покривного оздоблення лицьової поверхневі шкір. Представлено характеристику найбільш поширених дефектів, що можуть виникнути при недотриманні технологічних параметрів на різних етапах виробництва шкіри.

В цілому, комплексний підхід до вирішення питань формування якості та безпечності натуральної шкіри для дитячого взуття повинен ґрунтуватись на цілеспрямованому виборі шкіряної сировини та коригуванні параметрів технологічного процесу виробництва натуральної шкіри та використанні ресурсозберігаючих та екологічних технологій. Тому подальші дослідження будуть направлення на використання природних мінералів у виробництві натуральних шкір для дитячого взуття.

Література

1. Селезньова А.В. Аналіз існуючих матеріалів для створення раціональної конструкції взуття для дітей-школярів / А.В. Селезньова, А.Б. Добровський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 4 (227). – С. 62–66.

2. Демкевич Л.І. Шкіряна сировина: способи консервування, попередження мікробного псування і поліпшення якості / Л.І. Демкевич, М.Ю. Барна, О.В. Сафронова, А.М. Уська // Науковий вісник НЛТУ України. – 2013. – № 3. – С. 168–172.

3. Ліщук В.І. Зневолошування-зоління шкур великої рогатої худоби зі збереженням волосу / В.І. Ліщук, А.Г. Данилкович // Вісник КНУТД. – 2005.– № 3.– С. 73–77.

4. Касьян Е.Є. Основи технології шкіри та хутра : навч. посібник / Е.Є. Касьян. – К. : КДУТД, 2001. – 224 с.

5. Грищенко І.М. Поліфункціональні шкіряні матеріали : монографія / І.М. Грищенко, А.Г. Данилкович, О.Р. Мокроусова. – К. : Фенікс, 2013. – 295 с.

6. Данилкович А.Г. Технологія і матеріали виробництва шкіри : навч. посібник / А.Г. Данилкович, О.Р. Мокроусова, О.А. Охмат ; під ред. А.Г. Данилковича. – К. : Фенікс, 2009. – 580 с.

7. Майстренко Л. А. дослідження процесу хромового дублення із застосуванням сучасного полімерного матеріалу − похідної малеїнової кислоти / Л. А. Майстренко, О. А. Андреєва, М.К. Коляда // Технології та дизайн. – 2013. – № 4(9). – С. 1–11.

8. Thyssen J.P., Menne T. Metal allergy – a review on exposures, penetration, genetics, prevalence, and clinical implications // Chem Res Toxicol. – 2010. – № 23. – P. 309–318.

References

1. Seleznova A.V. Analiz isnuiuchykh materialiv dlia stvorennia ratsionalnoi konstruktsii vzuttia dlia ditei-shkoliariv / A.V. Seleznova, A.B. Dobrovskyi // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2015. – № 4 (227). – S. 62–66.

2. Demkevych L.I. Shkiriana syrovyna: sposoby konservuvannia, poperedzhennia mikrobnoho psuvannia i polipshennia yakosti / L.I. Demkevych, M.Iu. Barna, O.V. Safronova, A.M. Uska // Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. – 2013. – № 3. – S. 168–172.

3. Lishchuk V.I. Znevoloshuvannia-zolinnia shkur velykoi rohatoi khudoby zi zberezhenniam volosu / V.I. Lishchuk, A.H. Danylkovych // Visnyk KNUTD. - 2005. - № 3. - S. 73-77.

4. Kasian E.Ie. Osnovy tekhnolohii shkiry ta khutra : navch. posibnyk / E.Ie. Kasian. – K.: KDUTD, 2001. – 224 s.

5. Hryshchenko I.M. Polifunktsionalni shkiriani materialy : Monohrafiia / I.M. Hryshchenko, A.H. Danylkovych, O.R. Mokrousova. – K. : Feniks. – 2013. – 295 s.

6. DanylkovychA.H. Tekhnolohiia i materialy vyrobnytstva shkiry : navch. posibnyk / A.H. Danylkovych, O.R. Mokrousova, O.A. Okhmat; pid red. A.H. Danylkovycha. – K. : Feniks. – 2009. – 580 s.

7. Maistrenko L. A. doslidzhennia protsesu khromovoho dublennia iz zastosuvanniam suchasnoho polimernoho materialu − pokhidnoi maleinovoi kysloty / L. A. Maistrenko, O. A. Andreieva, M.K. Koliada // Tekhnolohii ta dyzain. – 2013. – № 4(9). – S. 1-11.

8. Thyssen J.P., Menne T. Metal allergy – a review on exposures, penetration, genetics, prevalence, and clinical implications // Chem Res Toxicol.–2010. – № 23. – P. 309–318.

Рецензія/Peer review : 11.02.2018 р. Надрукована/Printed :25.03.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Мережко Н.В.

УДК 677.075.3

Т.А. ДЗИКОВИЧ, Л.Є. ГАЛАВСЬКА, А.І. БОНДАРЕНКО
Київський національний університет технологій та дизайну

ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ РОЗВИВАЮЧОГО КИЛИМКА З ТРИКОТАЖУ

Мета роботи – розробка асортименту дитячих іграшок з текстилю. Для реалізації поставленої мети здійснено дизайн-проектування трикотажного розвиваючого килимка, вибір ігор для малюка та обрано види сировини й переплетення для його виготовлення на в'язальному обладнанні. Досліджено зміни лінійних розмірів розроблених зразків трикотажу після мокрих обробок, а також визначено їх релаксаційні характеристики. Проаналізовано вимоги щодо створення дитячого розвиваючого килимка, розроблено його дизайн та функціональні ігрові елементи, які сприяють розвитку дрібної моторики, слуху, зору, координації рухів та сприйняттю кольорів дітей ясельного віку.

Ключові слова: розвиваючий килимок, бамбукова пряжа, бавовняна пряжа, усадка, деформаційні властивості, трикотаж кулірних переплетень.

T.A. DZYKOVYCH, L.IE. HALAVSKA, A.I. BONDARENKO
Kyiv National University of Technologies and Design

DESIGNING OF EDUCATIONAL RUG MADE OF KNITWEAR

The purpose is development of assortment of children's toys made of textiles. In order to achieve the goals set the designing of knitted educational rug, games for a kid and types of textile and interweaving are selected for the production thereof on the knitting machine. The requirements regarding the creation of a children's educational rug are analyzed, its design and functional game elements, which contribute to the development of fine motor skills, sense of hearing and vision, motion coordination and color perception of toddlers. The work includes the analysis of assortment of children's toys made of textiles. Types of textile toys and their effect on the harmonious development of children of different age groups are described. Factors that have influence on children's knowledge of the world using a textile toy are defined. In this regard, based on the analysis such natural raw materials as cotton and bamboo are proposed to make knitted toys. The test samples of knitted fabrics are developed for the designing of functional elements of educational rug. Toys made of textiles become dirty very quickly and deform when used. Therefore, the study of changes in the linear sizes of knitwear after washing and its relaxation properties has important practical value. The study also established the influence of wet treatment on shape change of elements of knitwear structure depending on type of interweaving and raw material, using an electron microscope. The results obtained allow to establish industrial production of educational play rugs made of knitwear for toddlers.

Key words: educational rug, bamboo yarn, cotton yarn, shrinking, deformation properties, filling-knit.

Вступ

Іграшки – це особливий вид непродовольчих товарів, призначений для розвитку та виховання дітей. Вони сприяють їх розумовому та фізичному розвитку, допомагають пізнавати навколишній світ, привчають до праці, формують характер. Для дітей гра має таке ж значення, яке для дорослої людини мають робота, творча діяльність. Тому іграшки повинні відображати образи і події сучасності.

Роль іграшок у вихованні дітей величезна. Але не можна розглядати значення іграшок у відриві від вікових особливостей дітей. Діти різного віку різко відрізняються за рівнем свого розвитку, у них по різному проявляються інтереси до оточуючих їх предметів та явищ. Вони з інтересом грають у ті іграшки та ігри, які їм зрозумілі, тобто відповідають їх підготовленості.

За віковою ознакою іграшки поділяють на три основні групи: для дітей ясельного віку – до 3 років; для дітей дошкільного віку – від 3 до 7 років та для дітей шкільного віку – від 7 до 17 років. В основу класифікації іграшок за педагогічним призначенням покладено їх вплив на розумовий, фізичний та естетичний розвиток дітей. Педагогічну цінність мають ті іграшки, які правильно підібрані з урахуванням вікових можливостей, індивідуальних особливостей і схильностей дитини. Зручним вважається вивчення іграшок за матеріалом, з якого вони виготовлені. За цією ознакою іграшки поділяють на металеві, пластикові, дерев'яні, гумові, м'яконабивні, керамічні.

Особливістю української народної іграшки є те, що її виготовляли з різних екологічно чистих матеріалів, зокрема – це плетені з соломи, лози, трави, сиру, тіста, керамічні, дерев'яні, паперові, текстильні іграшки. Українська народна іграшка має надзвичайно багату історію. Вона поєднала в собі усе: життя і побут народу, звичаї, традиції та обряди. Зокрема українська лялька-мотанка була не просто іграшкою, а й оберегом, який символізував неперервний зв'язок між поколіннями. Народна іграшка є культурною спадщиною подібно рідної мови, казці, пісні. Народні іграшки тисячоліттями виховували дитину, вони перевірені дитячої любов'ю до неї, дитячою грою. Дитина буде відчувати власну етнічну приналежність. Найкраще дитину виховувати на власному продукті, прививаючи любов до свого рідного. На рис. 1а представлено ляльки-мотанки, які були розроблені та виготовлені на кафедрі технології трикотажного виробництва у рамках навчальної практики.

М'які іграшки, зокрема трикотажні, приємні на дотик. Такі іграшки є друзями, за допомогою яких дитина пізнає світ. Фабричні м'які іграшки виготовляють за шаблоном. А ось авторські іграшки – унікальні. Обличчя такої ляльки - це вже ювелірний виріб з особливим образом іграшки. Завдяки грі з ляльками у дітей активно розвивається уява, пам'ять, мислення, комунікабельність, посидючість, відточується мовленнєва функція, моторика, здатність до концентрації уваги й багато іншого. На кафедрі технології трикотажного виробництва розроблені та виготовлені у рамках навчальної практики ляльки «Тільда», хлопчик та дівчинка (рис. 1б). Краща іграшка для дитини – та, в яку вкладена часточка душі. Зроблена своїми руками іграшка

надовго завоює серце малюка. Вона унікальна, такої більше ні в кого не буде. Це справжній скарб (рис. 1в). Діти обожнюють мультфільми і, безумовно, вони мріють дружити з улюбленими мультиплікаційними героями. У рольовій грі дитина уявляє ту чи іншу ситуацію, наслідує дорослим, мультиплікаційним героям. На кафедрі технології трикотажного виробництва розроблено трикотажні іграшки – головні герої мультиплікаційного фільму «Смешарики» (рис. 1г). Дитячі педагоги та психологи впевнені, що іграшки повинні бути зроблені з натуральних матеріалів, тому що це має величезне значення для гармонійного розвитку дитини, не кажучи вже про безпеку для здоров'я малюка. Людина, як дитя природи, відчуває себе гармонійно в оточенні предметів з натуральних матеріалів. Від цього залежить і її психологічний стан. Малюки пізнають світ, у першу чергу, за допомогою дотику. Чим різноманітніші поверхні і структури, тим багатше уявлення дитини про навколишній світ. Слід також зазначити, що іграшки з еко-матеріалів, з натуральним наповненням є безпечними і не завдають шкоди здоров'ю дитини [2].

а б в г

Рис. 1. Трикотажні іграшки розроблені та виготовлені студентами на кафедрі технології трикотажного виробництва у рамках навчальної практики

Існують такі популярні торгові марки і виробники текстильних іграшок, як TinyLove (Ізраїль), FisherPrice (США), Dwinguler (Південна Корея), Alzipmat (Корея), BrightStarts (Америка), Chicco (Італія), Alexis (Польща), Babypol (Китай), Bambi (Китай), Babyfehn (Німеччина). Серед українських виробників досить відомими є ТМ "Розумна іграшка", фабрика іграшок "Анна", ТМ "Левеня", ТМ "ФРЕЯ", ТМ "Копица", ТМ "Гулівер-країна".

Постановка завдання

Розвивати дитину потрібно з перших років її життя. Саме тому все більшої популярності серед сучасних мам і тат набувають дитячі розвиваючі килимки. Вони дають змогу не тільки захопити дитину цікавою грою, а й розвинути моторику, вчать дітей розрізняти форми та колір і виконують безліч інших функцій.

Дитячі килимки допомагають створити унікальне середовище, в якій дитина може веселитися й розвиватися. У першу чергу сприяють розвитку дрібної моторики завдяки тактильному контакту з елементами на його поверхні або іграшками. До того ж килимки прикрашають у яскраві кольори, що допомагає малюкам навчитися розрізняти відтінки, а малюнки та аплікації дозволяють їм познайомитися з тваринами, морськими мешканцями і т.і. Створення безпечного середовища – це ще одна функція дитячого килимка. Нетоксичні матеріали дозволяють дитині без шкоди для здоров'я повзати по килимку. Для дитини розвиваючий килимок стане найбільшою і корисною іграшкою, яка ніколи не набридає, а для мами – головним наочним посібником для занять з малюком. Коли дитина підросте і почне самостійно сидіти, вона зможе з ним гратися без сторонньої допомоги. Яскраві аплікації і велика кількість всіляких елементів займуть увагу дитини. Під час спільних занять необхідно показувати дитині, які дії можна робити з предметами, розміщеними на килимку, і домагатися від нього виконання поставлених завдань.

Тому питання розробки трикотажного розвиваючого килимка з екологічно безпечної сировини є актуальним і потребує з одного боку ретельного вивчення вимог, що висуваються до них, з іншого – дослідження споживних властивостей трикотажних полотен, з яких виготовляються ігрові елементи розвиваючого килимка.

Результати та їх обговорення

Асортимент дитячих розвиваючих іграшок дуже різноманітний, тому що кожній дитині у певному віці необхідні ті чи інші іграшки, які допоможуть їй розвиватися, пізнавати світ, думати, міркувати, концентрувати увагу, запам'ятовувати тощо. Найбільш розповсюдженими розвиваючими іграшками з текстилю є розвиваючі килимки, ляльки-рукавички, еко-іграшки, кубики, м'які іграшки, вальдорфські пупси, а також іграшки ручної роботи.

Для споживача важливим фактором при здійсненні вибору текстильної іграшки є вид текстильного матеріалу, з якого її виготовлено. Екологічна іграшка безпечна для здоров'я дитини і довкілля. В'язане полотно з натуральної пряжі приємне на дотик і розвиває тактильну чутливість малюка. Краще за все у виробництві текстильних іграшок для дітей ясельного віку використовувати екологічно безпечні види

сировини. Зокрема нами пропонується використати бамбукову та бавовняну пряжі.

Бамбукова пряжа має ряд позитивних властивостей, а саме: підвищена гігроскопічність, міцність, теплозахисні, протиалергійні, бактерицидні властивості. Для фарбування бамбуковій пряжі потрібно на 15–20% менше хімічних барвників, ніж для бавовни – бамбукове волокно краще абсорбує фарбу. Тканина з бамбукової пряжі блищить, як шовк і м'якше бавовни [3]. Однак трикотажні полотна, виготовлені з бамбукової пряжі, мають ряд недоліків, які у разі використання бавовняної пряжі проявляються у значно меншій мірі. Зокрема це стосується зміни лінійних розмірів після мокрих обробок. Дана характеристика є важливою для обраної асортиментної групи, оскільки дитячий килимок у процесі гри швидко забруднюється і потребує багатократного прання. Значна деформація може призвести до втрати товарного вигляду виробу.

Для проведення досліджень впливу мокрих обробок на зміну лінійних розмірів по довжині та ширині розроблено та виготовлено на плосков'язальному обладнанні зразки трикотажних полотен трьома переплетеннями: гладь, ластик та комбіноване з бавовняної та бамбукової пряж. Зміну лінійних розмірів встановлено у відповідності до стандартизованої методики [4]. Результати дослідження представлено в таблиці 1.

Для більш наочного ознайомлення з результатами досліджень нижче наведені діаграми зміни лінійних розмірів дослідних зразків трикотажних полотен по ширині (рис. 2) та довжині (рис. 3). Як видно з діаграм, по ширині спостерігається притяжка в межах від 2,5% до 72,5%, а по довжині усадка – від 15% до 35%. Найменші відхилення у зразків комбінованого переплетення з бавовняної пряжі,а найбільші у зразків переплетення ластик з бамбукової пряжі [5].

Таблиця 1

Параметри петельної структури дослідних зразків трикотажу та показники зміни лінійних розмірів після прання

	Бавовняна пряжа				Бамбукова пряжа			
параметри структури	вид переплетення				вид переплетення			
	гладь	ластик	комбіноване		гладь	ластик	комбіноване	
лінійна густина Т, текс	29×2×4	29×2×4	29×2×4		29×2×4	29×2×4	29×2×4	
петельний крок А, мм	2,86	2,5	2,86		2,86	2,5	2,86	
висота петельного ряду В, мм	1,67	1,67	1,25		2	1,67	1,43	
довжина нитки в петлі ℓ, мм	9,7	15,7	8	18,6	12,9	17,5	8,6	19,1
поверхнева густина ms, г/м^2	512	859,6	849,2		543,6	869,6	796,4	
зміна лінійного розміру по ширині λш,%	-7,5	15	2,5		2,5	72,5	37,5	
зміна лінійного розміру по довжині λд,%	-10	-20	-1,5		-15	-35	-27,5	

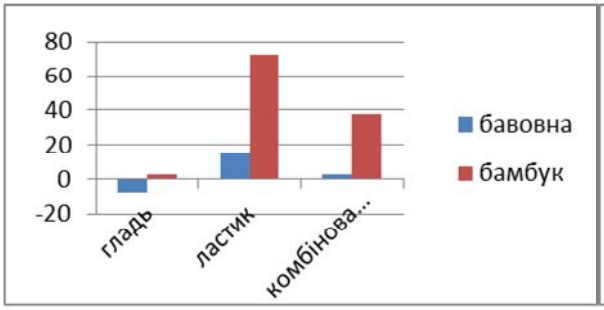


Рис. 2. Зміна лінійного розміру дослідних зразків трикотажних полотен по ширині

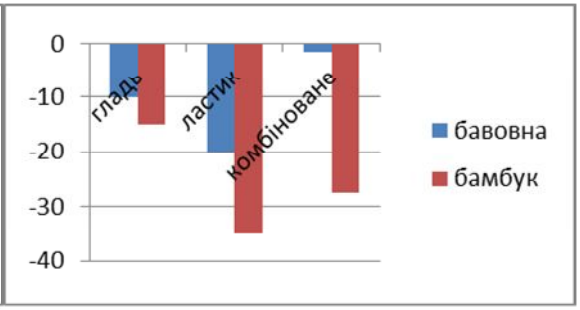


Рис. 3. Зміна лінійного розміру дослідних зразків трикотажних полотен по довжині

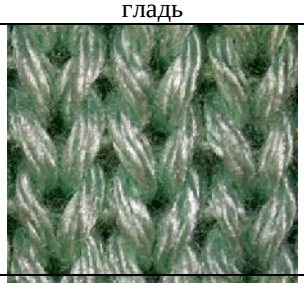
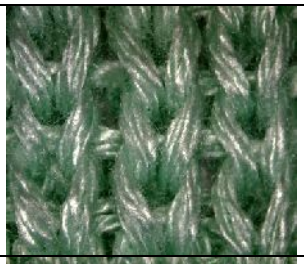
Аналіз, представлених на рис. 2 та рис. 3 результатів досліджень, дозволяє зробити висновок про те, що на зміну лінійних розмірів має суттєвий вплив як вид сировини, так і вид переплетення. Найменший

ступінь усадки та притяжки спостерігається у зразків, вироблених кулірним переплетенням гладь.

У результаті аналізу з використанням електронного мікроскопу макроструктури дослідних зразків трикотажу, виробленого з бамбукової пряжі виявлено, що у найменшій мірі зміна форми петель після мокрих оброблень відбувається у разі їх вироблення кулірним переплетенням гладь. Результати дослідження наведено у таблиці 2. Це слід врахувати при виборі виду переплетення для утворення структурних елементів розвиваючого килимка.

Таблиця 2

Макрофотографії дослідних зразків трикотажу кулірних переплетень до та після мокрих оброблень

	гладь	ластик	комбіноване
до прання			
після прання			

Важливою характеристикою стабільності лінійних розмірів під час експлуатації виробу є залишкова частка релаксації деформації. ЇЇ величина свідчить про формостабільність виробу. Оскільки трикотажний виріб під час його використання підлягає розтягуючим зусиллям, то важливо дослідити складові частки релаксації деформації при навантаженні 6Н. Дослідження проведено у відповідності до стандартизованої методики з використанням релаксометра типу «стійка» [6]. Як зазначалося вище, бамбукова пряжа є екологічно безпечним видом сировини і доречним для використання у виготовленні виробів для дітей ясельного віку. Тому релаксаційні характеристики досліджено саме для дослідних зразків, вироблених з бамбукової пряжі переплетеннями гладь, ластик та комбіноване. Результати досліджень представлено у таблиці 3.

Таблиця 3

Релаксаційні характеристики дослідних зразків трикотажу, вироблених з бамбукової пряжі

Вид переплетення	Складові частки релаксації деформації, %					
	по довжині			по ширині		
	швидко-оборотна, ΔE1	повільно-оборотна, Δ E2	залишкова, Δ E3	швидко-оборотна, ΔE1	повільно-оборотна, Δ E2	залишкова, Δ E3
Гладь	0,63	0,21	0,16	0,63	0,14	0,23
Ластик	0,63	0,12	0,24	0,34	0,23	0,42
Комбіноване	0,62	0,16	0,22	0,36	0,3	0,34

Результати досліджень деформаційних характеристик свідчать про те, що найменший ступінь деформації при розтягуванні як по довжині, так і по ширині мають зразки, вироблені переплетенням гладь, а найбільший – вироблені ластиком. Показники релаксації деформації, а саме частка залишкової деформації, свідчать про те, що найбільшою формостійкістю характеризуються зразки трикотажу, вироблені переплетенням гладь, найменшою – ластиком.

На підставі одержаних результатів досліджень для виготовлення функціональних елементів розвиваючого килимка нами обрано структуру переплетення гладь та у якості сировини рекомендується обрати бамбукову пряжу. Після здійснення вибору виду сировини та переплетення для формування деталей текстильного килимка можна перейти безпосереднього до його дизайн-проектування. Дизайн-проектування передбачає наступні етапи.

Перший етап – підготовчий. На даному етапі необхідно:

Проаналізувати вимоги щодо розробки дизайну килимка та проектування розвиваючих ігор. При розробці дизайну килимка нами враховано наступні критерії:

Якість матеріалу. Килимок має бути приємним на дотик і не подразнювати очі. Відомі виробники використовують у створенні продукції тільки м’які, безпечні і рекомендовані екологами матеріали. Натуральні компоненти не роблять шкоди пізнавати світ малюкові. Екологічна іграшка безпечна для

здоров'я дитини і довкілля, в'язане полотно з натуральної пряжі приємне на дотик і розвиває тактильну чутливість малюка, краще за все обирати більш екологічну пряжу, тому я обрала бамбукову.

Особливості нанесення малюнків і фактура. Бажано, використовувати різну фактуру. Так дитині буде набагато цікавіше гратися. Що стосується нанесених зображень, то вони не повинні бути яскравими і агресивними. Очі дитини тільки-тільки починають бачити навколишній світ. А надто агресивні зображення можуть завдати певної шкоди не лише очам, а й психіці малюка. Нами обрано чотири кольори ніжних відтінків:м'ятний, кораловий, рожевий і фіалковий.

Великі елементи. На килимку знаходиться безліч елементів, що сприяють розвитку. Однак батькам треба враховувати не кількість брязкалець, шнурків, кишеньок та інших фішок, а їх габарити. Тому, усі елементи мають бути великого розміру й міцно та надійно закріплені на поверхні виробу.

Компактність. Розвиваючий килимок має бути компактним й складатися на випадок, якщо є бажання взяти його на природу або у подорож. Коли на вулиці гарна погода, дитина може грати на свіжому повітрі. Нами розроблено килимок розміром 55×77 см, який не буде займати багато місця.

Наявність вільних зон. Килимок для малюків ясельної вікової групи не повинен бути переповнений розважальними та розвиваючими елементами. Психологи та дослідники рекомендують брати продукцію з наявністю вільних зон. Вони необхідні для того, щоб малюк спокійно грав там, складав свої дрібнички і просто міг спокійно відпочивати. У випадку, якщо дитина захоче просто полежати або посидіти, килимок можна перегорнути на іншу сторону з гладкою поверхнею без розвиваючих елементів .

Зробити малюнок ігрового полотна, з огляду на всі декоративні додаткові елементи і розвиваючі деталі.

Підібрати пряжу. При виборі пряжі, важливо враховувати її гіпоалергенність, вона повинна бути не тільки приємна на дотик, але і не викликати подразнень на ніжній шкірі дитини. Не варто забувати про наповнювач типу «поролон» або «синтепон», які дозволять дитині грати на теплому і м'якому полотні.

підготувати всі необхідні інструменти і фурнітуру: ножиці, голки, нитки, аплікації, фантики, ґудзики, стрічки, замочки-блискавки, липку стрічку, шнурки, намистини і т.д.

Другий етап – робота з текстильним матеріалом. Ігровий килимок складається з двох основних частин - лицьова і зворотна сторони. Визначившись з полотном, формою і розмірами елементів виробу, виконуємо розкрій трикотажного полотна. Слід звернути увагу на якість оформлення країв килимка. Він має бути ретельно оброблений для уникнення розпуску петельної структури.

Третій етап – робота з декоративними елементами. Обрані аплікації мають бути надійно пришитими до основного полотна килимка. Це також стосується фурнітури та іграшок, що обрані у якості декоративних ігрових елементів. У ході декорування полотна особливо важливо стежити за тим, щоб елементи були міцно прикріплені.

Четвертий етап – завершальний, на якому відбувається з'єднання лицьової та зворотної частин килимка. Для того, щоб килимок був м'яким, необхідно вкласти між шарами м'який та пружний матеріал типу «поролон» або «синтепон» [7].

Рис. 4. Зовнішній вигляд розробленого дитячого розвиваючого килимка

Опис виробу. З урахуванням вимог, що висуваються до текстильних розвиваючих іграшок, нами розроблено наступний дизайн дитячого розвиваючого килимка (рис. 4). Для створення даного килимка використано екологічну бамбукову пряжу чотирьох кольорів: м'ята, персик, корал і фіалка. Лицьова поверхня поділена на різні зони для розвиваючих ігор. Це чотири різнокольорові квадрати та шість прямокутників. Опис кожної з функціональних частин представлено у таблиці 4. Інша сторона килимка представляє собою гладке полотно для відпочинку дитини. Для м'якості та об'єму у якості наповнювача між шарами використано нетканий матеріал типу «синтепон». Усі ділянки і бокові частини оброблено трикотажною тасьмою м'ятного кольору. Розвиваючий килимок призначений для дітей ясельної вікової групи від 1 до 3 років. Розмір килимка 55×77 см.

Таблиця 4

Опис функціональних зон розвиваючого килимка з трикотажу

	«Шнурівка». Пришиваються кільця і в них заводиться яскравий шнурок. Дитина вчиться попадати в отвори і зав'язувати шнурок на бантик.		«Застібки» З яскравих стрічок робимо ремінці для застібок. Дитині потрібно докласти більше зусиль і кмітливості ніж в інших завданнях, щоб розкрити їх.
	«Геометричні фігури». З різнокольорової тасьми-липучки вирізаються геометричні фігури: квадрати, трикутники, кола і пришиваються до основи. Це дозволяє вивчити різні геометричні форми і навчитися розрізняти предмети за розміром і кольором.		«Прищіпки» На широку стрічку чіпляються різнокольорові прищіпки, можна вирізати маленькі картинки і чіпляти їх.
	«Ґудзики» З різнокольорової резинки робимо петельки для ґудзиків, щоб дитина вчилася розстібати і застібати. Незвичайна форма ґудзиків із зображенням замку, сукні, подарунка і торта розвине уяву дитини.		«Фрукти» Використовуємо термоаплікацію, шнурок і різнокольорові ґудзики у вигляді яблук і полуниць. Ґудзики можна пересувати по шнурку, рахувати і називати де який фрукт.
	«Блискавка» Використовуємо термоаплікацію і блискавку, щоб дитина разом з мультиплікаційними героями «фіксиками» навчалася розстібати. Для більшої цікавості всередину можна покласти що-небудь не велике, а дитина буде шукати.		«Метелики» Різнобарвні ґудзики метелики пришиваємо в хаотичному порядку поруч з термоаплікацією. Ми залишаємо вільну зону для творчості. Дитина разом з мамою зможе додати щось своє.

Висновки

На підставі проведеного аналізу критеріїв, яким має відповідати дитячий розвиваючий килимок з текстилю, здійснено його дизайн-проектування, вибір ігор для малюка та обрано види сировини й переплетення для його виготовлення на в'язальному обладнанні. Запропоновано функціональні ігрові елементи, які сприяють розвитку дрібної моторики, слуху, зору, координації рухів та сприйняттю кольорів дітей ясельного віку.

Іграшки з текстилю швидко забруднюються та під час використання деформуються. Тому важливе практичне значення для виготовлення розвиваючого трикотажного килимка мають проведені у роботі дослідження показників зміни лінійних розмірів після прання та релаксаційних характеристик розроблених зразків трикотажних полотен. З використанням електронного мікроскопу встановлено вплив мокрих обробок на зміну форми елементів структури трикотажу в залежності від виду переплетення та сировини. У ході проведених досліджень виявлено, що найбільш формостабільною є структура трикотажу переплетення гладь, виробленого з бамбукової пряжі. Одержані результати досліджень та запропонований алгоритм дизайн-проектування дозволяють налагодити промислове виробництво розвиваючих ігрових килимків з трикотажу для дітей ясельного віку.

Література

1. Дослідження ринку іграшок [Електронний ресурс]. – Режим доступ: http://ukreferat.com/93435-Issledovanie-rynka-igrushek.html

2. Бондаренко А. І. Розробка асортименту трикотажних іграшок та їх роль у розвитку особистості

дитини / А. І. Бондаренко, Л. Є. Галавська, Т. А. Дзикович // Тези доповідей XV Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та студентів "Наукові розробки молоді на сучасному етапі". Т. 1: Секція "Нові наукомісткі технології виробництва матеріалів, виробів широкого вжитку та спеціального призначення", 28-29 квітня 2016 р. – К. : КНУТД, 2016. – С. 129.

3. Бамбукова пряжа та її властивості [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.babyblog.ru/user/Dostell/2601217

4. ГОСТ 30157.0-95. Методи визначення зміни розмірів після мокрих оброблень або хімічного чищення.

5. Бондаренко А.І. Аналіз асортименту розвиваючих іграшок з текстилю / А.І. Бондаренко, Т.А. Дзикович // Тези доп. XVI Всеукр. наукової конф. молодих вчених та студ. [“Наукові розробки молоді на сучасному етапі”], (Київ, 27–28 квітня 2017 р.) / Мін-во освіти і науки України, КНУТД. – К. : КНУТД, 2017. – С. 304.

6. Кобляков А. И. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению : учебное пособие для вузов / А.И. Кобляков, Г.Н. Соловьев [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Легпромбытиздат, 1986. – 344 с. : ил.

7. Розвиваючий килимок для дітей [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://dizainvfoto.ru/svoimi-rukami/izgotovlenie-razvivayushhego-kovrika-svoimi-rukami-dlya-detej-ot-0-do-3-let-s-foto.htm

References

1. Doslidzhennja rynku ighrashok. [Elektronnyjresurs]. – Rezhym dostupu: http://ukreferat.com/93435-Issledovanie-rynka-igrushek.html

2. Bondarenko A. I. Rozrobka asortymentu trykotazhnykh ighrashok ta jikh rolj u rozvytku osobystosti dytyny / A.I. Bondarenko, L.J. Ghalavsjka, T.A. Dzykovych // Tezy dopovidej XV Vseukrajinsjkoji naukovoji konferencij i molody khuchenykhta studentiv "Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi".T.1: Sekcija"Novi naukomistki tekhnologhij i vyrobnyctva materialiv, vyrobiv shyrokogho vzhytku ta specialjnogho pryznachennja" [Tekst] : 28-29 kvitnja 2016 r. K. : KNUTD, 2016. S. 129.

3. Bambukova prjazha ta jiji vlastyvosti. [Elektronnyj resurs]. Rezhym dostupu: http://www.babyblog.ru/user/Dostell/2601217

4. GhOST 30157.0-95. Metody vyznachennja zminy rozmiriv pislja mokrykh obroblenj abo khimichnogho chyshhennja .

5. Bondarenko A.I. Analiz asortymentu rozvyvajuchykh ighrashok z tekstylju / A.I. Bondarenko, T.A. Dzykovych // Tezy dop. KhVI Vseukr .naukovoji konf. molodykh vchenykh ta stud. [“Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi”], (Kyjiv, 27–28 kvitnja 2017 r.) / Min-vo osvity i nauky Ukrajiny, KNUTD. – K. : KNUTD, 2017. – S. 304.

6. Kobljakov, A. Y. Laboratornyj praktykum po tekstyljnomu materyalovedenyju: uchebnoe posobye dlja vuzov / A.Y. Kobljakov, Gh.N. Solovj’ev, [y dr.] - 2-e yzd., pererab. y dop. - M.: Leghprombytyzdat, 1986.- 344 s.: yl.

7. Rozvyvajuchyj kylymok dlja ditej [Elektronnyj resurs]. – Rezhym dostupu: http://dizainvfoto.ru/svoimi-rukami/izgotovlenie-razvivayushhego-kovrika-svoimi-rukami-dlya-detej-ot-0-do-3-let-s-foto.htm

Отримана/Received : 20.2.2018 р. Надрукована/Printed :24.3.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Березненко С.М.

УДК 688.35

С.О. ЧЕРЕДНІЧЕНКО, Н.В. ОСТАПЕНКО ,
С.Є. ПОТАНІН, Л.В. НАВОЛЬСЬКА, Н.Д. КРЕДЕНЕЦЬ
Київський національний університет технологій та дизайну

ОСНОВНІ АСПЕКТИ ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ СУМОК-ПЕРЕНОСОК

Метою роботи є аналіз, узагальнення і систематизація інформації про вироби для перенесення собак, розробка рекомендацій до їх конструктивно-технологічного рішення при проектуванні. В роботі використано загальну методологію комплексного підходу до проектування сумок-переносок для кімнатно-декоративних собак. У статті представлено результати аналізу передумов формування напрямів досліджень та встановлено найбільш вагомі чинники при проектуванні сумок. Проведено аналіз стану проблем проектування та виготовлення сумок для собак. Виокремлено найбільш вагомі чинники системного підходу до розробки сумок для собак і встановлено, що існуючі різновиди сумок-переносок для собак не в повній мірі відповідають умовам експлуатації, належним чином не задовольняють потреби споживачів. Визначено основні складові процесу проектування, також узагальнені основні конструктивні і технологічні особливості існуючих різновидів сумок для собак. Проведено аналіз споживчого ринку та визначено сучасні тенденції щодо виробів для собак. Проведено анкетне опитування з метою визначення переваг, що надають споживачі під час вибору та експлуатації даного виробу. Для досягнення поставленої мети та вирішення завдань застосовано системно-структурний, морфологічний аналіз, композиційно-конструктивний метод дослідження.

Ключові слова: сумка-переноска, проектування, розмірні ознаки собак, шкіргалантерейні вироби.

S.O. CHEREDNICHENKO, N.V. OSTAPENKO, S.E. POTANIN, L.V. NAVOL′S′KA, N.D. KREDENETS′
Kyiv National University of Technologies and Design

BASIC ASPECTS OF DESIGN OF BAGS

In the work the general methodology of the integrated approach to the design of carry bags for decorative dogs is used. The article presents the results of the analysis of the preconditions for the formation of research directions and identifies the most important factors in their design. The purpose of the work is to analyse, summarize and systematize information about products for the transfer of dogs, development of recommendations for the design and technological solutions of bags during their design. It is found that the size of the product depends on the size of the dog that is in it. Such products should have adequate volume to ensure comfortable stay of the animal and to be comfortable for a person who carries a bag with a dog. An obligatory condition at development of structurally-technological decision for the dogs of the marked breeds is free access of air. Recommendations are worked out to planning and making of bags for dogs taking into account their structurally-technological features. Based on the systematic approach to designing these products, it has been found that existing bags do not fully meet the external environments . The analysis of the consumer market was carried out and current trends in dog products were identified. The analysis of the modern market has shown that existing varieties of bags for dogs do not fully meet the needs of consumers. In order to identify the main complaints and benefits provided by consumers during the selection and operation of this product, a questionnaire survey was conducted. With the aim of establishment of basic complaints and advantages that consumers give during a choice and exploitation of this good the questionnaire questioning was conducted. The results of questioning treated the method of mathematical statistics and the basic criteria of choice of bags are certain for dogs.

Key words: bag, designing, size of dogs, leather goods production.

Вступ

На даний момент асортимент шкіргалантерейних виробів досить великий, один з його напрямів, пов'язаний з виготовленням виробів для тварин, а саме сумок-переносок для собак.

Сучасний розвиток шкіргалантерейного виробництва легкої промисловості України переходить на якісний новий рівень. Саме потреби споживача істотно впливають на розвиток промислового виготовлення виробів легкої промисловості практично на всіх етапах виробничого циклу: від проектування до реалізації. Провівши аналіз сучасного ринку визначено асортимент виробів, який повинен бути не лише технологічним, а й відповідати висунутим вимогам і вподобанням споживачів.

Мода на утримання кімнатно-декоративних собак викликала попит на ці вироби, що призвело до виникнення конкуренції і активної боротьби за споживача, тому важливим є розробка нових моделей сумок-переносок саме для цих тварин. Велика потреба в якісній продукції, яка б відповідала вимогам споживача, та різне призначення сумок-переносок для собак вимагають удосконалення методів проектування, конструювання та технології виготовлення, а також якості матеріалів.

Постановка проблеми

З огляду на потреби споживачів, необхідно провести комплексний аналіз наявного асортименту сумок-переносок для собак; сформулювати ведучі основні розмірні ознаки собак та виявити їх залежність від розміру виробу; визначити шляхи удосконалення сучасного процесу проектування сумок-переносок для кімнатно-декоративних собак.

Виявлено, що існуючі вироби не в повній мірі відповідають умовам експлуатації сумок-переносок для собак та задовольняють потреби споживачів.

Результати дослідження

Метою роботи є аналіз, узагальнення і систематизація інформації про вироби для перенесення собак, розробка рекомендацій щодо їх конструктивно-технологічних рішень на етапі дизайн-проектування, виявлення переваг технологічних рішень визначених споживачами з подальшою розробкою вимог до сумок-

переносок.

Найбільш використовуваними зазначені сумки-переноски є для таких заходів [1], як:

- вихід у світ та перебування на урочистих подіях;
- повсякденне використання (прогулянка, похід в магазин, ветеринарну клініку, проїзд у міському транспорті);
- перевезення на ближні та дальні відстані згідно з правилами у літаках та на залізничному транспорті.

Основні чинники, які мають бути враховані при проектуванні сумок-переносок для собак, представлено на рис. 1.

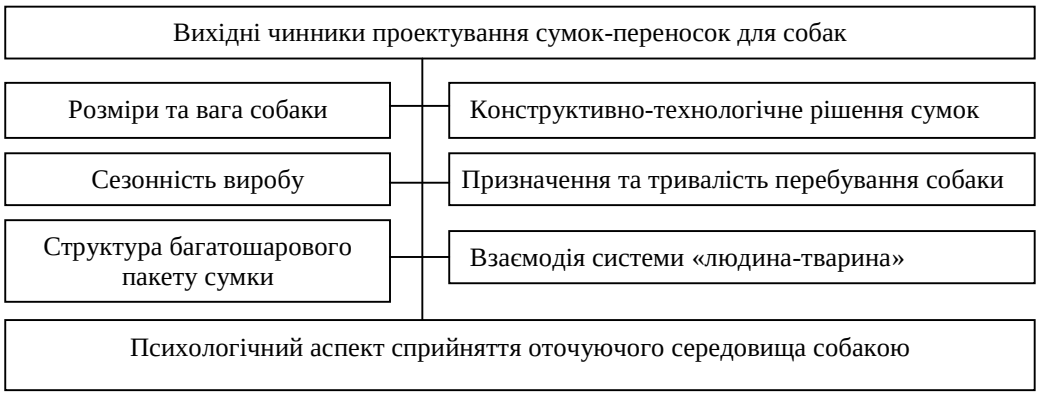


Рис. 1. Систематизація вихідних чинників проектування сумок-переносок для собак

Виявлено, що розміри сумок-переносок залежать від породи собак, які в них знаходяться. Такі вироби повинні мати відповідний об'єм для забезпечення комфортного перебування тварини та бути зручними для людини, яка переносить сумку з собакою.

Відомо [2, 9], що існують угрупування порід собак за розмірами та вагою:

- малі або кімнатно-декоративні, до яких належать такі породи, як чіхуахуа, йоркширський тер'єр, російський той, папійон, померанський шпіц, ши-тцу, джек расел тер'єр та інші, висотою в холці від 15 до 40 см і вагою від 0,5 до 12 кг;
- середні собаки висотою в холці від 40 до 57 см та вагою від 12,5 до 35 кг, до представників цих порід належать англійський бульдог, чау-чау, пудель, далматинець, лабрадор ретривер та інші;
- великі собаки таких порід, як німецька вівчарка, ротвейлер, сенбернар, афганська борзая, німецький дог та інші, мають висоту в холці від 60 см і вагу більш ніж 45 кг.

Відповідно [3] до розмірних ознак тварин, які визначаються висотою в холці та в хрестці, висотою шиї, косою довжиною тулуба, довжиною передньої ноги, довжиною морди, лобу і голови, глибиною грудини, обхватом грудини, обхватом п'ясти, шириною голови в щелепах, шириною грудини спереду – залежать розміри сумки-переноски.

Виявлено [4], що породи кімнатно-декоративних собак користуються великою популярністю і з кожним роком все більше людей заводять саме їх. В Україні на даний момент є багато різновидів порід кімнатно-декоративних собак, серед яких найбільш розповсюдженими є бішон фрізе, йоршерський тер'єр, російський той, мальтійська болонка, папійон, померанський шпиц, чихуахуа тощо. Характеристику зазначених порід наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики порід кімнатно-декоративних собак

Назва породи собаки	Зображення собаки	Зріст (висота в холці), см	Довжина (коса довжина тулуба), см	Вага, кг
1	2	3	4	5
Бішон фрізе		25÷30	20÷30	3,5÷5,0
Йоршерський тер'єр		20÷24	20÷28	2,0÷2,8

Продовження табл.. 1

1	2	3	4	5
Російський той		20÷28	25÷30	2,0÷3,0
Мальтійська болонка		20÷25	25÷32	3,0÷4,0
Папійон		20÷24	18÷24	1,5÷2,5
Померанський шпиц		24÷28	18÷24	1,9÷3,5
Чихуахуа		20÷24	15÷23	0,5÷2,5

Для подальших досліджень обрано сумки-переноски для порід кімнатно-декоративних собак наступних розмірів з висотою в холці до 27 см, довжиною тулуба від 25 до 30 см та вагою від 1,5 до 3 кг. До собак зазначених розмірів належать такі породи, як чихуахуа вагою 0,5-3,0 кг, висотою в холці 15–23 см, російський той вагою собак 2,5-3.0 кг, висотою в холці 25–30 см, йоршерський тер'єр вагою собак 2,0-2,8 кг, висотою в холці 20–24 см, папійон (папільон) вагою 1,5-2,5 кг, висотою в холці 20–28 см [2, 3].

Обрані нами породи мають не тільки схожі розмірні ознаки, а також вони подібні за поведінкою та темпераментом. Відомо [3, 5], що існує зв'язок анатомічної будови собаки і її темпераменту – чим легша за тілобудовою собака, тим більш вона збуджена і холерична. Представники цих порід не стійкі до стресових ситуацій, бояться транспорту, недовірливо ставляться до людей, швидко втомлюються, що призводить до носіння їх на руках, навіть під час прогулянки. Щоб уникнути незручності при носінні чи перевезенні собаки, необхідно мати сумку-переноску, в якій тварина може відчувати себе в безпеці та заспокоїтись. Крім того, у зазначених порід відсутнє почуття страху до великих собак – на що треба особливо зважати на прогулянці при зустрічі з ними [5] і убезпечити вихованця, посадивши його в сумку-переноску.

Перераховані вище розмірні ознаки собак та їх характеристики, а також залежність розміру сумки-переноски від поведінки та темпераменту собаки є визначальними факторами для обґрунтованого вибору розміру та форми сумки-переноски. Рухливій і грайливій собаці необхідна сумка за розміром більша, щоб не ускладнювати її рухи і можливість змінювати положення тіла, і, навпаки, спокійній тварині можна підібрати сумку щодо її розміру з невеликим простором для свободи руху всередині виробу.

Внаслідок вибору порід собак та умов їх поведінки обґрунтовано розміри проектованих сумок-переносок за умов наявності отвору для голови. Даний виріб повинен відповідати розміру собаки, а саме по довжині: розмірній ознаці (РО) косій довжині тулуба та довжині морди, по висоті – висоті в холці, по ширині бути такою, щоб собака легко могла змінити положення тіла і відповідати РО ширині грудини. Величина сумки-переноски також залежить від способу закриття, жорсткості конструкції та сезону.

Ще одним чинником, який слід враховувати при проектуванні сумок-переносок, є сезонність виробу. В теплу пору року собака не повинна перегріватись, і як наслідок, пакет матеріалів повинен бути з матеріалів з високою повітропроникністю, демісезонні сумки мають бути утеплені з дном із водонепроникних матеріалів, а зимові – морозостійкі та вітрозахисні та більші за об'ємом із-за наявності одягу на тварині.

Існує певне різноманіття конструктивно-технологічних рішень існуючих сумок-переносок для порід кімнатно-декоративних собак, аналіз, узагальнення і систематизація яких представлена на рис. 2.

Обов'язковою умовою для собак зазначених порід при розробці конструктивно-технологічного рішення переносок є наявність вентиляційних отворів або отвору для голови. Ці елементи можуть бути виконані з сітчастого матеріалу (рис. 3 а-д) і розташовуватись в бічних (рис. 3, а), передніх (рис.3,б) стінках виробу, у верхній частині (рис. 3, в), або на декількох поверхнях переноски одночасно (рис. 3, г, д). Також в деяких моделях для вентиляції повітря передбачено люверси (рис. 3, е) або отвори для голови тварини (рис. 3, ж) [4, 6].

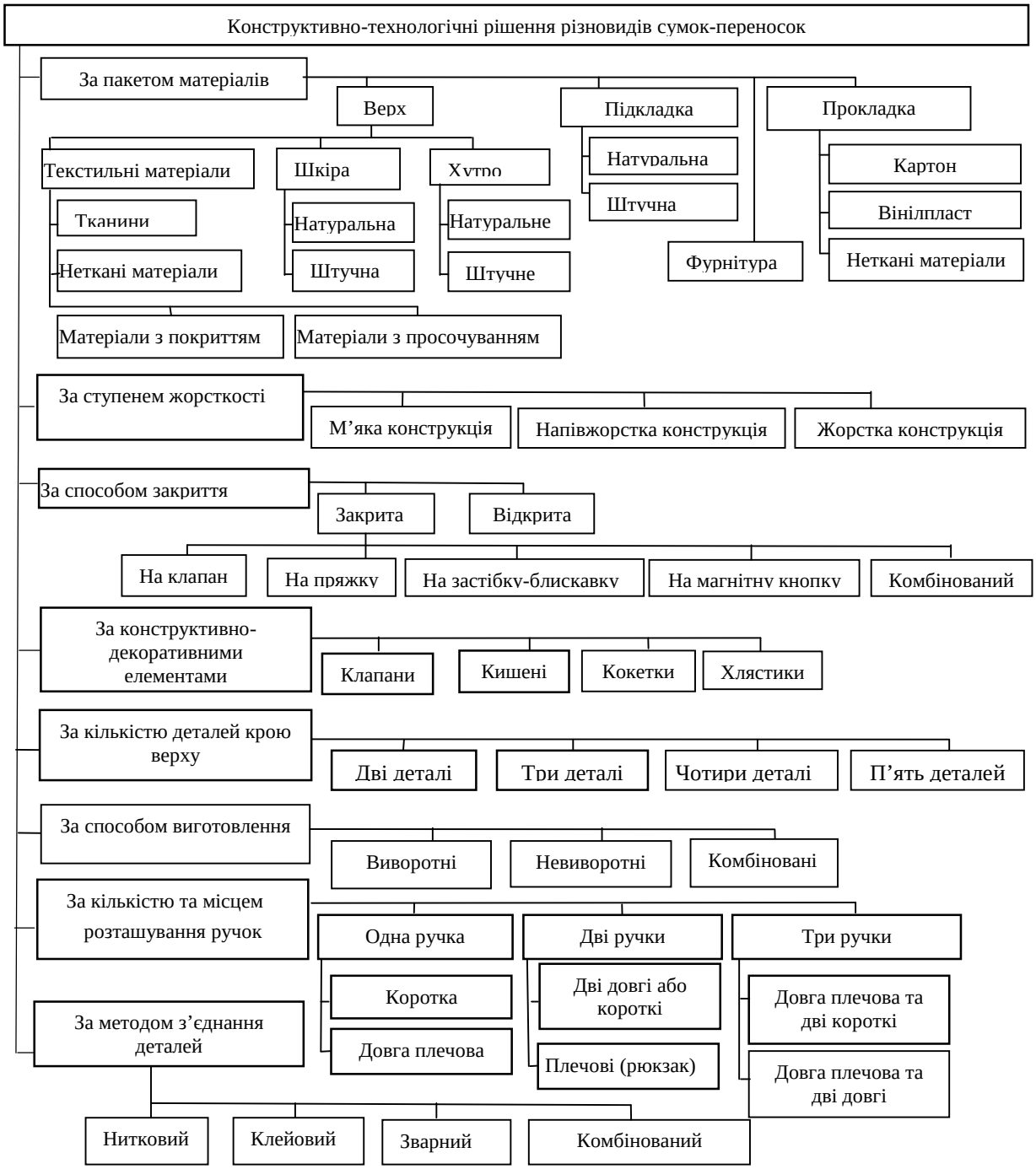


Рис. 2. Узагальнена систематизація конструктивно-технологічних рішень існуючих сумок

а б в г д е ж

Рис. 3. Варіанти місць розташування вентиляційних отворів і ручок в сумках-переносках для собак

Для обраних порід собак дані вироби систематизовано за кількістю зовнішніх деталей (рис. 4), розрізняють конструкції корпусів сумок, що можуть складатись з різних поєднань основних деталей: стінок і дна (рис. 4, а, б), полотна і клинчиків (рис. 4, в), стінок, клинчиків і дна (рис. 4, г), стінок, ботана і дна (рис. 4, д), передньої стінки, задньої стінки, клинчика, фальди та дна (рис. 4, е) і т.д. [1, 7, 10]

а б в г д е

Рис. 4. Різновиди корпусів сумок-переносок

За кількістю та місцем розташування ручок у виробі для перенесення зазначених порід собак розрізняють сумки-переноски з однією (рис. 3, б) чи двома короткими ручками (рис. 3, е), які носять в руці та довгим ременем на плече (рис. 3, в, г); з двома ручками середньої довжини біля ліктя (рис. 3, а, д), а також ті, які носять на плечі або плечах (рис. 3, д, ж) (сумки-переноски з довгим ременем, слінги, рюкзаки тощо) та комбіновані.

Багатошаровий пакет матеріалів сумки складається з верху, підкладки, прокладки та фурнітури у різних варіантах. До матеріалів верху виробу належать шкіряні, хутряні, текстильні матеріали; до матеріалів підкладки відносять натуральні та штучні тканини; серед прокладкових жорстких матеріалів розрізняють: картон, щільний папір, вініпласт; до прокладкових м’яких – пінополіуретан пластичний (поролон), ватин, неткані матеріали, синтепон; байка, фланель; до фурнітури: нитки, клеї, карабіни, застібки-блискавки, пряжки, кнопки, шнури тощо, призначені для з’єднання основних деталей та застібання виробу [8, 11].

В залежності від ступеня жорсткості розрізняють сумки м’якої, напівжорсткої та жорсткої конструкції, яка досягається наявністю деталей з прокладкових жорстких і м’яких матеріалів. Для зміцнення конструкції і надання їй жорсткості ці деталі можуть бути виконані з картону, щільного паперу, вініпласту і різноманітних видів пластмаси або посилені ними. В сумках з м’якою конструкцією жорсткі прокладкові матеріали не застосовуються; напівжорсткої конструкції деталі з прокладкових жорстких матеріалів застосовують для укріплення дна, стінок або клинчиків; жорсткої конструкції – всі основні деталі укріплюються деталями з жорстких прокладкових матеріалів. М’які прокладкові матеріали служать для зміцнення конструкції і створення випуклої поверхні виробу чи окремих основних і додаткових деталей у виробах напівжорсткої конструкції.

Спосіб виготовлення верху сумок характеризується методом кріплення деталей, видом обробки зовнішніх зрізів деталей, видом шва, додатковими деталями. При з’єднанні деталей виробу застосовують два основних способи – виворотний і невиворотний. Перший спосіб простіший та має високу продуктивність, тому що в більшості випадків не потребує додаткової обробки зрізів деталей. Зрізи деталей корпусу, що з’єднуються, розташовують всередині сумки і закривають підкладкою. При виготовленні виробів без підкладки внутрішні зрізи обкантовують. Другий спосіб обумовлює використання таких матеріалів, на яких не залишається заломів і вм’ятин в процесі вивертання виробу. Виворітнім способом неможливо з’єднати жорсткі деталі, бо вузол з таких деталей неможливо вивернути. Якщо необхідно попередня чи наступна обробка видимих зрізів виробу, то застосовують невиворотний спосіб хоча і більш трудомісткий. Проте для виготовлення виробів із жорстких матеріалів, а також з’єднання деяких конструкцій невиворотний спосіб є єдино можливий.

При проектуванні сумок-переносок для собак слід враховувати, що для даного типу виробів конструктивний устрій залежить від способу закривання, деталей конструкції корпусу і їх призначення, розмірів та форми, матеріалів, фурнітури, способу з’єднання деталей, зовнішнього оформлення та їх оздоблення зокрема декоративного доповнення та прикрас [1, 8, 11].

Для подальших досліджень проведено анкетне опитування споживачів з метою визначення основних переваг та недоліків сумок-переносок для собак. Аналіз результатів довів, що при виборі сумки-переноски споживачі в основному віддають перевагу зручним виробам (29%). Причому, при виборі двох визначальних характеристик найчастіше обрано комфортність і відповідність напрямку моди або комфортність і зручність перебування собаки в сумці.

При виборі та використанні сумок-переносок для собак споживачі описують власний дискомфорт, а саме підвищений тиск на певні ділянки плечової частини тіла ручками виробу, а 53% споживачів скаржилися на негативну реакцію собаки, що не хотіла знаходитись в сумці. Тільки 19% респондентів без ускладнень вибирають і купують сумку-переноску для собаки, не стикаючись з подібними проблемами.

За умов врахування побажань щодо проектування сумок-переносок, можна надати рекомендації до вибору таких виробів.

Висновки

Вивчено проблемний стан проектування і виготовлення сумок-переносок для собак. На основі системного підходу до цих виробів виокремлено найбільш вагомі чинники при проектуванні сумок і встановлено, що існуючі вироби не в повній мірі відповідають умовам експлуатації та не повністю задовольняють потреби споживачів. Узагальнено і систематизовано різновиди конструктивно-технологічних рішень сумок для собак, акцентовано увагу на конструктивні та технологічні особливості існуючих різновидів сумок-переносок, розроблено інформаційну базу складових елементів таких виробів, які б

задовольняли потреби споживачів.

Література

1. Конструирование изделий из кожи / [Ю.П. Зыбин, В.Н. Ключникова, Т.С. Коткова, В.А. Фукин]. – М. : Легкая и пищевая промышленность. 1982. – 264 с.

2. Ветка С. Декоративные собаки / Ветка С. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2000. – 320 с.

3. Головачёв А. Ф. Самые маленькие собаки / Головачёв А. Ф. – СПб : Диля, 2003. – 189 с.

4. Сумка-переноска для собак [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.zooclub.com.ua/dog-breed-rating

5. Бержан Ё. Поведение собак / Бержан Ё. ; пер. с финск. / под ред. Л.А. Гибет. – М. : Мир, 1986. – 206 с.

6. Сумка-переноска для собак [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://ezoo.com.ua/perenoski-symki-c-18586_18592.html

7. Надопта Т.А. Дослідження конструктивно-композиційних елементів шкіргалантерейних виробів / Т.А. Надопта, Н.С. Кривенька// Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – № 3. – С. 244–248.

8. Николаева Ж. Б. Моделирование кожгалантерейных изделий / Николаева Ж. Б. – М. : «Легкая индустрия», 1975. – 240 с.

9. Собаки: Все породы : справочник / пер. с нем. Лехари Г. – М. : «Омега», 2005. – 368 с.

10. ДСТУ ГОСТ 28 631:2006. Сумки, валізи, портфелі, ранці, папки, вироби дрібної шкіргалантереї. – К. : Держспоживстандарт України. – 2007. – 10 с.

11. Kolosnichenko O.V. The development of new forms of special clothes by design projecting methods / O.V. Kolosnichenko, N.V. Ostapenko and M.V. Kolosnichenko // Vlakna a Textile. – Bratislava. – 2016. – № 2. – P. 3–8.

References

1. Construction of leather products from Yu.P. Zybin, V.N. Klyuchnikova, T.S. Kotkov, V.A. Fukin. - M.: Light and food industry. 1982. - 264 pp.

2. Vetka S. Decorative dogs. - Rostov-on-Don: Phoenix, 2000. - 320 p.

3. Holovachev A. F. Samye malen′kye sobaky. – SPb.: Dylya, 2003. – 189 s.

4. Sumka-perenoska dlya sobak. URL: http://www.zooclub.com.ua/dog-breed-rating

5. Berzhan E. Povedenye sobak: Per. S fynsk. Pod red. L.A. Hybet. M.: Myr, 1986. 206 s.

6. Sumka-perenoska dlya sobak. URL: https://ezoo.com.ua/perenoski-symki-c-18586_18592.html

7. Nadopta T.A. Doslidzhennya konstruktyvno-kompozytsiynykh elementiv shkirhalantereynykh vyrobiv / T.A. Nadopta, N.S. Kryven′ka // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2016. – № 3 – S. 244-248.

8. Nykolaeva ZH. B. Modelyrovanye kozhhalantereynykh yzdelyy. – M.: «Lehkaya yndustryya», 1975. – 240 s.

9. Sobaky: Vse porody. Spravochnyk, Per. s nem., Lekhary H. – L 33 M.: «Omeha», 2005.-368 s.

10. DSTU HOST 28 631:2006 Sumky, valizy, portfeli, rantsi, papky, vyroby dribnoyi shkirhalantereyi. – K.: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny. – 2007. 10 s.

11. Kolosnichenko O.V. The development of new forms of special clothes by design projecting methods / O.V. Kolosnichenko, N.V. Ostapenko and M.V. Kolosnichenko // Vlakna a Textile. – Bratislava. – 2016. – №2. – P. 3–8.

Рецензія/Peer review : 19.02.2018 р. Надрукована/Printed :27.03.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 543.395:677.075

О.Я. СЕМЕШКО, Н.С. СКАЛОЗУБОВА, Ю.Г. САРІБЄКОВА
Херсонський національний технічний університет

РОЗРОБКА КОМПОЗИЦІЙ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ПІДГОТОВКИ БАВОВНЯНОГО ТРИКОТАЖУ

У статті наведені результати розрахунку композиційних складів поверхнево-активних речовин для підготовки бавовняного трикотажного полотна на основі методу математичного планування експерименту – симплекс-решітчастого плану Шеффе другого порядку. Отримані математичні моделі залежностей основних властивостей композицій (часу змочування трикотажного полотна, мийної здатності, поверхневого натягу, піноутворюючої здатності, стійкості піни) від їх складу. Проведена оптимізація математичних моделей «склад-властивості» за змочувальною і мийною здатністю та розраховані оптимальні значення натуральних часток компонентів в композиціях поверхнево-активних речовин для підготовки бавовняного трикотажу.

Ключові слова*: трикотажне полотно, поверхнево-активні речовини, підготовка трикотажу, композиція поверхнево-активних речовин, план Шеффе.*

O.YA. SEMESHKO, N.S. SKALOZUBOVA, YU..G. SARIBYEKOVA
Kherson National Technical University

DEVELOPMENT OF COMPOSITIONS OF SURFACTANTS FOR THE PRE-TREATMENT OF COTTON KNITTED FABRICS

The goal of this study is to calculate the compositions of surfactants for the preparation of cotton knitted fabric based on the method of mathematical planning of the experiment, namely the second-order simplex-lattice Sheffe plan. To create the compositions, effective surfactants, such as a wetting agent and a detergent agent as the main components, as well as a defoamer and anti-crease agent, were selected as additional constituents of the composition. In order to develop effective compositions for scouring knitwear, three surfactants of different classes (non-ionic, amphoteric, cryptanionic) were chosen as a detergent, and the remaining constituents were repeated in each composition. As initial parameters of mathematical planning, the wetting time of the knitted fabric, washing ability, surface tension, foaming ability and foam stability were chosen. As a result of the experiment, mathematical models of dependencies of the main properties of compositions on their composition were calculated, and their adequacy was verified and established. It has been established that surface tension, foam formation and foam stability have little effect on the efficiency of the process during the preparation of cotton knitted fabric. Wetting and washing abilities of the surfactant composition are the main indicators for optimizing the complex composition. As a result, optimization of mathematical models «composition-property» for wetting and washing abilities was carried out and optimum values of natural parts in compositions were calculated. Complex surfactant compositions designed for the scouring process of grey cotton knitted fabric, which provide the fastest possible wetting and removal of natural and technological contaminants, have been developed. This will contribute to the intensification of the scouring process of knitwear and will ensure high quality indicators.

Keywords: knitted fabric, surface-active substances, preparation of knitwear, composition of surfactants, Scheffe plan.

Вступ

Трикотажна промисловість є найбільшою галуззю світового виробництва завдяки тому, що вироби з трикотажу володіють унікальними споживчими властивостями.

Важливими складовими хіміко-технологічного процесу підготовки трикотажного полотна є текстильно-допоміжні речовини (ТДР), застосування яких сприяє видаленню масел, жирів, воскоподібні речовин і твердих забруднень. Тому при підготовці текстильних матеріалів існує ряд важливих проблем: підбір ефективних і біологічно розщеплюються поверхнево-активних речовин (ПАР); зниження деструктивного впливу відбілюючих агентів і ТДР; зниження обсягів водоспоживання та інших видів матеріальних ресурсів; пошук нових, більш ефективних способів підготовки та ін. [1].

Однак ТДР, що застосовуються на вітчизняних трикотажних виробництвах, не завжди забезпечують необхідну якість підготовки текстильного матеріалу, що в подальшому негативно позначається на якості фарбування та в цілому на якості готових виробів. В даний час міжнародні стандарти якості висувають високі вимоги до текстильної продукції, що обумовлено необхідністю створення і застосування нових екологічно безпечних ТДР для забезпечення сучасного рівня проведення технологічних процесів, зокрема при підготовці трикотажного полотна [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Підвищення якості продукції, що випускається в процесі попередньої підготовки трикотажних полотен пов’язано з розробкою високоефективних технологій з використанням нових композиційних ТДР на основі різних класів ПАР [3, 4]. Необхідність створення таких препаратів обумовлена складною фізико-хімічною будовою оброблюваного матеріалу і багатостадійністю процесу його обробки. До складу таких композицій входять компоненти, які або діють адитивно або синергічно на одній стадії процесу, або активізуються на різних його стадіях.

Найбільш широко в операціях підготовки застосовують ПАР, що володіють цілим комплексом властивостей (миючі, диспергуючі, емульгуючі, змочують, протизаломлюючі).

Препарати, що застосовуються на трикотажних підприємствах України для промивання трикотажних полотен, характеризуються значною вартістю і нерідко є неекологічними. Необхідність пошуку і розробки нових ефективних та економічно вигідних композиційних препаратів ПАР для підготовки трикотажних полотен визначається актуальність даного дослідження [5–7].

Формулювання мети дослідження

Мета даної роботи полягала в розробці композиційного складу ПАР для підготовки трикотажного полотна методом математичного планування експерименту.

Матеріали і методи дослідження

На основі аналізу раніше отриманих результатів [8] для створення композицій були вибрані наступні високоефективні ПАР: у якості змочувача – Ultravon TC, у якості піногасника – Albaflow FFC-01, у якості протизаломлювача – Albafluid CD. Для забезпечення високих показників мийної здатності композиції для промивання бавовняного трикотажу, а також з метою встановлення кращого мийного агента були вибрані Оксипав А1214С.50 – неіоногенна ПАР (НПАР), Бетапав А.30 – амфотерна ПАР(АмПАР) та Карбоксипав АФ6.35 – криптоаніонна ПАР (КрПАР). У табл. 1 наведена характеристика вибраних ПАР.

Таблиця 1

Характеристика вибраних ПАР

Назва ПАВ	Виробник	Клас	Зовнішній вигляд	Хімічний склад
Ultravon TC	«Huntsman NMG»	НПАР	Прозора рідина	Суміш неіоногенних ПАР
Albaflow FFC-01		АПАР	Рідина білого кольору середнього ступеня в’язкості	Склад з похідних жирних спиртів з алканолом та модифікованих метилполісілоксанів
Albafluid CD		АПАР	Прозора в’язка емульсія	Препарат на основі співполімеру поліефіру
Оксипав А1214С.50	ТОВ НВО «НИИ ПАВ»	НПАР	Прозора світло-жовта рідина	Алкілдиметиламіноксид
Бетапав А.30		АмПАР	Прозора світло-жовта рідина	Алкілбетаїн
Карбоксипав АФ6.35		КрПАР	Прозора світло-жовта рідина	Карбоксилати оксиетильованих алкілфенолів

Визначення поверхневого натягу розчинів проводилось методом відриву кільця (метод Дю-Нуї) шляхом встановлення сили, яка необхідна для відриву кільця радіусу R від поверхні рідини за допомогою вагів Дю-Нуї та розраховувалась за формулою:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_{H_2O} \cdot \varphi_x}{\varphi_{H_2O}}, \quad (1)$$

де φ_x, φ_{H2O} – сила відриву кільця від дистильованої води і від досліджуваного розчину;

σ_{H2O} – поверхневий натяг дистильованої води [9].

Визначення змочувальної здатності розчинів ПАР проводилося методом занурення Дрейвза, який полягає в почерговому введенні зразків суворого трикотажного полотна в підготовлені водні розчини ПАР з подальшою фіксацією часу до повного їх занурення [9].

Для визначення мийної здатності ПАР зразки трикотажного полотна зважувалися з точністю до 4-го знаку. Потім зразки відварювались у водних розчинах досліджуваних ПАР (0,2-5 г/л) при М=50, Т=80°С протягом 30 хв. з наступним промиванням теплою водою і повторним визначенням маси.

Миюча здатність ПАР визначалася за формулою:

$$T_{миюч} = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \cdot 100, \quad (2)$$

де m_1 і m_2 – маса зразка до і після відварювання, г [9]

З метою визначення піноутворюючої здатності розчинів ПАР і стійкості піни в градуйований циліндр місткістю 100 мл з притертою пробкою поміщали 20 мл розчину концентрацією 2 г/л при температурі 20°С. Після цього циліндр з розчином енергійно струшували протягом 10 с. Об’єм піни, яка утворилася, заміряли негайно після струшування та через 30 хв. Піноутворююча здатність (П) і стійкість піни (С) обчислювалися за формулами:

$$П = \frac{V_1 \cdot 100}{V_0}, \quad (3)$$

$$C = \frac{V_2 \cdot 100}{V_1}, \quad (4)$$

де V_1 – об’єм піни після струшування, мл;

V_0 – початковий об’єм розчину, мл;

V_2 – об’єм піни після 30 хв після струшування, мл [9].

Результати дослідження та їх обговорення

Для розробки багатокомпонентних складів найбільш перспективним вважається використання методів математичного планування [10, 12], які дозволяють значно скоротити об’єм експерименту,

виключають необхідність в просторовому уявленні складних поверхонь, так як властивості розробленої композиції можна представити у вигляді поверхні. В даний час для оптимізації розрахунку складів композицій на основі математичної моделі «склад-властивість» найбільше застосування отримали симплекс-решітчасті плани, запропоновані Г. Шеффе [10]. Плани Шеффе забезпечують рівномірний розкид експериментальних точок по (q-1)-мірному симплексу. Експериментальні точки представляють {q, n}-решітки на симплексі, де n – ступінь полінома.

Наведемо розрахунок складу композиції, що буде включати змочувач Ultravon TC, піногасник Albaflow FFC-01, протизаломлювач Albafluid CD та миючий агент Оксипав А1214С.50 (НПАР).

Дослідження проводили на локальній області факторного простору, яка була обмежена зверху і знизу межами концентрацій обраних речовин (в г/л):

$$\begin{aligned} &0{,}02 \le x_1(\text{Ultravon TC}) \le 0{,}5;\\ &0{,}02 \le x_2(\text{Albafluid CD}) \le 0{,}5;\\ &0{,}02 \le x_3(\text{Albaflow FFC-01}) \le 0{,}1;\\ &0{,}02 \le x_4(\text{Оксипав А1214С.50}) \le 0{,}35. \end{aligned} \quad (5)$$

Тобто, область дослідження представляла собою багатокутник з вісьмома вершинами і сторонами, який був приведений до симплексу з числом вершин $m{\cdot}n{=}q$. Оскільки симплекс-дослідження є малочисельними в порівнянні з усією областю дослідження, то необхідно зробити перехід від компонентів x_i до псевдокомпонентів z_i. Симплекс-решітчастий план Шеффе другого порядку для чотирьохкомпонентного складу представлений в табл. 2.

Таблиця 2

Симплекс-решітчастий план Шеффе другого порядку для чотирьохкомпонентного складу

Номер досліду	z_1	z_2	z_3	z_4	Позначення відгуку
1.	1,00	0,00	0,00	0,00	y_1
2.	0,00	1,00	0,00	0,00	y_2
3.	0,00	0,00	1,00	0,00	y_3
4.	0,00	0,00	0,00	1,00	y_4
5.	0,50	0,50	0,00	0,00	y_{12}
6.	0,50	0,00	0,50	0,00	y_{13}
7.	0,50	0,00	0,00	0,50	y_{14}
8.	0,00	0,50	0,50	0,00	y_{23}
9.	0,00	0,50	0,00	0,50	y_{24}
10.	0,00	0,00	0,50	0,50	y_{34}

Властивості складу композиції оцінювали згідно з рядом вихідних параметрів Y_i: час змочування ПАР трикотажного полотна, $T_{змоч.}$, с; мийна здатність ПАР трикотажного полотна, $T_{миюч.}$, %; поверхневий натяг ПАР, ПН, σ, мН/м; піноутворююча здатність ПАР, П, %; стійкість піни ПАР, С, %. Кожен дослід був повторений двічі. Результати дослідження у вигляді середніх значень вихідних параметрів представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Значення вихідних параметрів

Номер досліду	$T_{змоч.}$, с	$T_{миюч.}$, %	ПН, σ, мН/м	П, %	С, %
1.	242,0	0,73	45,1	120	83,3
2.	874,0	0,85	47,6	180	61,1
3.	143,5	0,95	50,9	230	73,9
4.	102,5	0,52	47,9	150	66,7
5.	179,5	0,15	49,9	100	100,0
6.	917,0	0,34	52,2	100	100,0
7.	598,0	0,67	47,9	100	100,0
8.	407	0,37	47,8	100	100,0
9.	202,5	0,57	47,3	100	100,0
10.	328,5	0,64	51,7	150	66,7

Після розрахунків отримані моделі (6)–(10) залежностей від складу композиції:

- часу змочування трикотажного полотна:

$$T_{змоч.}=242{,}0z_1+874{,}0z_2+143{,}5z_3+102{,}5z_4-1514{,}0z_1z_2+2897{,}0z_1z_3+1703{,}0z_1z_4-407{,}0z_2z_3-1143{,}0z_2z_4+822{,}0z_3z_4; \quad (6)$$

- мийної здатності:

$$T_{миюч.}=0{,}73z_1+0{,}85z_2+0{,}95z_3+0{,}52z_4-2{,}56z_1z_2+2{,}00z_1z_3+0{,}18z_1z_4-2{,}12z_2z_3-0{,}46z_2z_4-0{,}38z_3z_4; \quad (7)$$

- поверхневого натягу:

$$\sigma=45{,}1z_1+47{,}6z_2+50{,}9z_3+47{,}9z_4+14{,}4z_1z_2+16{,}8z_1z_3+5{,}7z_1z_4-5{,}9z_2z_3-1{,}7z_2z_4+9{,}5z_3z_4; \quad (8)$$

- піноутворювальної здатності:

$$П=120,0z_1+180,0z_2+230,0z_3+150,0z_4–200,0z_1z_2–300,0z_1z_3–140,0z_1z_4–420,0z_2z_3–260,0z_2z_4–160,0z_3z_4; \quad (9)$$

- стійкості піни:

$$C=83,3z_1+61,1z_2+73,9z_3+66,7z_4+111,1z_1z_2+85,5z_1z_3+100,0z_1z_4+130,0z_2z_3+144,5z_2z_4–14,4z_3z_4. \quad (10)$$

З точки зору обробки текстильного матеріалу в водних розчинах ПАР піноутворення і стійкість піни впливають на ефективність процесу не більше 10% [12]. Для ефективного проведення процесу обробки текстильних матеріалів у водних розчинах ПАР їх поверхневий натяг має бути менше поверхневого натягу води на 20 одиниць і становити близько 52 мН/м. Результати, представлені в табл. 3, показують, що значення поверхневого натягу розчинів композицій змінюються в діапазоні від 45 до 52 мН/м. Отже, ці моделі можна виключити з оптимізації. Тому з метою визначення оптимального складу композиції доцільно провести оптимізацію моделей «склад-властивість» за змочувальною і миючою властивостями. Крім того, на основі аналізу механізму дії ПАР у процесі промивання бавовняного трикотажу, визначальними були встановлені саме ці властивості ПАР.

Для перевірки адекватності моделі другого порядку за змочувальною і мийною властивостями проведений дослід у додатковій контрольній точці та встановлено, що розраховані математичні моделі є адекватними.

Завдання оптимізації можна сформулювати наступним чином: необхідно знайти в області допустимих значень факторів Ω ті значення, для яких вихідні параметри приймають мінімальні або максимальні значення. З метою отримання достовірних даних щодо оптимізації складу композиції ПАР необхідно проводити оптимізацію одиночних моделей «склад-властивість». Для змочувальної здатності необхідно визначити оптимальний склад композиції при мінімальних значеннях часу змочування: $T_{змоч.} \to \min$, $0 \le z_i \le 1$. Для мийної здатності необхідно визначити оптимальний склад композиції при максимальному значенні ступеня видалення забруднень: $T_{миюч.} \to \max$, $0 \le z_i \le 1$.

Після розрахунків знайдені оптимальні значення натуральних часток компонентів в композиції: x_1=0,26; x_2=0,1; x_3=0,14; x_4=0,5. Розрахунок композицій на основі миючих речовин Бетапав А.30 та Карбоксипав АФ6.3 виконувався аналогічно.

У табл. 4 наведені результати оптимізації моделей «склад-властивість», виражені у натуральних компонентах, для композицій на основі змочувача Ultravon TC, піногасника Albaflow FFC-01, протизаломлювача Albafluid CD та миючих речовин: Оксипав А1214С.50 (НПАР), Бетапав А.30 (АмПАР) та Карбоксипав АФ6.35 (КрПАР).

Таблиця 4

Склади розроблених композицій ПАР

№	Складові	Призначення ПАР	Клас ПАР	Склад, частки одиниці		
				Композиція		
				№ 1	№ 2	№ 3
1.	Ultravon TC	змочувач	НПАР	0,26	0,33	0,33
2.	Albafluid CD	протизаломлювач	АПАР	0,14	0,09	0,09
3.	Albaflow FFC-01	піногасник	АПАР	0,10	0,31	0,31
4.	Оксипав А1214С.50	миюча речовина	НПАР	0,50	-	-
	Бетапав А.30		АмПАР	-	0,27	-
	Карбоксипав АФ6.35		КрПАР	-	-	0,27

Таким чином, за допомогою математичного планування, а саме з використанням симплекс-решітчастих планів Шеффе, були знайдені склади композицій ПАР для промивання суворого бавовняного трикотажного полотна, що забезпечують максимально швидке змочування та видалення забруднень. Це сприятиме інтенсифікації процесу промивання трикотажу та забезпечить високі показники його якості.

Склад композиції №1 захищений патентом України [13].

Висновки

Встановлено, що для підготовки бавовняного трикотажного полотна у водних розчинах ПАР поверхневий натяг, піноутворення та стійкість піни мало впливають на ефективність процесу. Змочувальна та мийна здатності ПАР є головними показниками для оптимізації композиційного складу. З метою визначення оптимального складу композиції проведена оптимізація математичних моделей «склад-властивість» за змочувальною і мийною здатностями ПАР.

Методом математичного планування із застосуванням симплекс-решітчастих планів Шеффе визначено оптимальні склади композицій ПАР для підготовки бавовняного трикотажного полотна:

- композиція №1 на основі НПАР Оксипав А1214С.50 (у частках одиниці): Ultravon TC – 0,26, Albafluid CD – 0,14, Albaflow FFC-01 – 0,10, Оксипав А1214С.50 – 0,5;
- композиція на №2 основі АмПАР Бетапав А.30 (у частках одиниці): Ultravon TC – 0,33, Albafluid CD – 0,09, Albaflow FFC-01 – 0,31, Бетапав А.30 – 0,27;
- композиція на №3 основі КрПАР Карбоксипав АФ6.35 (у частках одиниці): Ultravon TC – 0,33, Albafluid CD – 0,09, Albaflow FFC-01 – 0,31, Карбоксипав АФ6.35 – 0,27.

Література

1. Киселев А.М. Основы пенной технологии отделки текстильных материалов / А.М. Киселев. – СПб : СПГУТД, 2003. – 551 с.

2. Смирнова О.К. Вспомогательные вещества в химико-текстильных процессах. Современный ассортимент отечественных текстильных вспомогательных веществ / О.К. Смирнова, Н.П. Пророкова // Рос. хим. ж. – 2002. – № 1. – Т. XLVI. – С. 88–95.

3. Zika H. T. The use of biodegradable linear alcohol surfactants in textile wet processing / H.T. Zika // Journal of the American Oil Chemists Society. – 1971. – Vol. 48. – P. 273–278.

4. Reyhaneh A. Type and application of some common surfactants / A. Reyhaneh, A. Ashjaran // Journal of Chemical and Pharmaceutical Research. – 2015. – Vol. 7(2). – P. 632–640.

5. Кулаков О. І. Розробка ефективних змочувачів для текстильної промисловості / О.І. Кулаков, А.Я. Ганзюк // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – 2005. – № 1(10). – С. 181–183.

6. Khatri A. Sustainable dyeing technologies / A. Khatri, M. White // Sustainable Apparel. – 2015. – P. 135–160.

7. Fakin D. The effect of pretreatment on the environment and dyeing properties of a selected cotton knitted fabric / D. Fakin, D. Golob, Z. Stjepanovič // Fibres and Textiles in Eastern Europe. – 2008. – Vol. 16. – P. 101–104.

8. Скалозубова Н.С. Определение моющей и смачивающей способности ПАВ, используемых в процессах подготовки трикотажного полотна / Н.С. Скалозубова, А.Н. Куник, Г.С. Сарибеков // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2014. – № 1. – С. 18–21.

9. Крикунова К.Ф. Технический анализ при отделке тканей и трикотажных изделий / К.Ф. Крикунова, И.В. Крикунова. – М. : Легпромбытиздат, 1989. – 256 с.

10. Ахназарова С.Л. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. – М. : Высшая школа, 1978. – 320 с.

11. Кулаков О.І. Розробка складів текстильно-допоміжних речовин методом математичного моделювання їх властивостей / О.І. Кулаков, А.Я. Ганзюк // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – 2007. – № 1(13). – С. 31–35.

12. Шенфельд Н. Поверхностно-активные вещества на основе оксида этилена / Н. Шенфельд. – М. : Химия, 1982. – 749 с.

13. Патент №115669 UA,. МПК D06M 9/04 (2006/01). Композиція поверхнево-активних речовин для підготовки бавовняного трикотажного полотна / Н.С. Скалозубова, О.Я. Семешко, Ю.Г. Сарібєкова (Україна). – № u 2016 10932. – Заявл. 31.10.2016 ; опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8. – 4 с.

References

1. Kiselev A.M. Osnovy pennoj tekhnologii otdelki tekstil'nyh materialov / A.M. Kiselev. – SPb: SPGUTD, 2003. – 551 s.

2. Smirnova O.K. Vspomogatel'nye veshchestva v himiko-tekstil'nyh processah. Sovremennyj assortiment otechestvennyh tekstil'nyh vspomogatel'nyh veshchestv / O.K. Smirnova, N.P. Prorokova // Ros. him. zh. – 2002. – №1. – T. XLVI. – S. 88–95.

3. Zika H. T. The use of biodegradable linear alcohol surfactants in textile wet processing / H.T. Zika // Journal of the American Oil Chemists Society. – 1971. – Vol. 48. – P. 273–278.

4. Reyhaneh A. Type and application of some common surfactants / A. Reyhaneh, A. Ashjaran // Journal of Chemical and Pharmaceutical Research. – 2015. – Vol. 7(2). – P. 632–640.

5. Kulakov O. I. Rozrobka efektivnih zmochuvachiv dlya tekstil'noї promislovosti / O.I. Kulakov, A.YA. Ganzyuk // Problemy legkoj i tekstil'noj promyshlennosti Ukrainy. – 2005. – №1(10). – S.181–183.

6. Khatri A. Sustainable dyeing technologies / A. Khatri, M. White // Sustainable Apparel. – 2015. – P.135–160.

7. Fakin D. The effect of pretreatment on the environment and dyeing properties of a selected cotton knitted fabric / D. Fakin, D. Golob, Z. Stjepanovič // Fibres and Textiles in Eastern Europe. – 2008. – Vol. 16, Issue 2, P. 101–104.

8. Skalozubova N.S. Opredelenie moyushchej i smachivayushchej sposobnosti PAV, ispol'zuemyh v processah podgotovki trikotazhnogo polotna / N.S. Skalozubova, A.N. Kunik, G.S. Saribekov // Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizajna. Seriya 1. Estestvennye i tekhnicheskie nauki. – 2014. – №1. – S. 18-21.

9. Krikunova K.F. Tekhnicheskij analiz pri otdelke tkanej i trikotazhnyh izdelij / K.F. Krikunova, I.V. Krikunova. – M.: Legprombytizdat, 1989. – 256 s.

10. Ahnazarova S.L. Optimizaciya ehksperimenta v himii i himicheskoj tekhnologii / S.L. Ahnazarova, V.V. Kafarov. – M.: Vysshaya shkola, 1978. – 320 s.

11. Kulakov O.I. Rozrobka skladiv tekstil'no-dopomizhnih rechovin metodom matematichnogo modelyuvannya їh vlastivostej / O.I. Kulakov, A.YA. Ganzyuk // Problemy legkoj i tekstil'noj promyshlennosti Ukrainy. – 2007. – №1(13). – S. 31-35.

12. SHenfel'd N. Poverhnostno-aktivnye veshchestva na osnove oksida ehtilena / N. SHenfel'd. – M.: Himiya, 1982. – 749 s.

13. Patent №115669 UA,. MPK D06M 9/04 (2006/01). Kompoziciya poverhnevo-aktivnih rechovin dlya pidgotovki bavovnyanogo trikotazhnogo polotna / N.S. Skalozubova, O.YA. Semeshko, YU.G. Saribєkova (Ukraїna). № u 2016 10932. – Zayavl. 31.10.2016; Opubl. 25.04.2017, Byul. №8. – 4 s.

Рецензія/Peer review : 18.02.2018 р. Надрукована/Printed :23.03.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 620.92

Н. Б. ГОЛУБ, М. В. ШИНКАРЧУК, О. А. КОЗЛОВЕЦЬ
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКУВАННЯ БІОГАЗУ ПРИ ЗБРОДЖУВАННІ ЖИРОВМІСНИХ ВІДХОДІВ ШКІРЯНОГО ВИРОБНИЦТВА

Показано, що додавання посліду як косубстрату до жирових відходів виробництва шкіри впливає на якісні та кількісні показники процесу зброджування. Визначено, що найбільший вихід біогазу характерний для співвідношення «жирові відходи: курячий послід» 1:1. Раціональним для одержання біогазу при 23-добовому терміні бродіння є концентрація субстрату, яка складає 7,5%. Концентрація метану в біогазі залежно від співвідношення косубстратів складає 65-70± 3,2%.

Ключові слова: біогаз, метан, жировмісні відходи, послід, коферментація, анаеробне зброджування.

NATALIIA BORISIVNA GOLUB, MALVINA VOLODYMYRIVNA SHINKARCHUK, OLEXANDR ANATOLIYOVYCH KOZLOVETS
National Technical University of Ukraine “Igor Sykorsky Kyiv Polytechnic Institute”

THE WAY OF INCREASING BIOGAS AT THE FERMENTING FAT-CONTAINING WASTE TANNERY

The main waste of genuine leather production is fat-containing raw material (fat with impurities of wool) with high content of inorganic compounds and surfactants. Anaerobic digestion is one way of processing such waste. One of the techniques for introducing biogas technologies as a way to dispose of fatty waste from the leather industry is the use of cosubstrates that can provide the necessary content of nitrogen and trace elements, regulate the pH of the digestion medium (in the range of 6.5 - 7.5) and reduce the concentration of salts without reducing the rate of the process of methanogenesis. The article shows that the addition of chicken manure as a co-substrate to fatty waste products of leather affects the qualitative and quantitative parameters of the fermentation process. It is determined that when co-fermentation of fatty raw materials with the chicken manure the output of biogas and methane content in it depends on the ratio of cosubstrates. The rational concentration of the substrate for biogas production with a 23 day fermentation period is a concentration of 7.5 %. The concentration of methane in biogas is 65-70 ± 3.2 %, depending on the ratio of the co-substrate. The maximum yield of biogas is characteristic for the ratio of fat / chicken manure 1:1 (64 ± 1.8 % methane), at a ratio of 9:1 biogas output is reduced by 8.5 ± 0.4 % with a methane content of 66 ± 2.64 %. With an increase in the concentration of chicken manure to 4:1 biogas output is 45 ± 1.8 % from its output in the ratio of components 9:1. It was established that for the production of biogas from fatty waste of leather production, the ratio of fat / chicken manure 9:1 is rational.

Key words: biogas, methane, fatty waste, chicken manure, cofermentation, anaerobic digestion.

Постановка проблеми

Підвищення обсягів експорту продукції вітчизняної шкіряної галузі призводить до збільшення темпів росту виробництва [1, 2]. Відповідно збільшується кількість жировмісних відходів, утилізацію яких можливо здійснювати шляхом анаеробного зброджування [3].

Основним відходом шкіряної галузі є нетипова для метанового зброджування жировмісна сировина (жир та міздра з домішками шерсті), в якій містяться неорганічні сполуки (хлорид, сульфід та карбонат натрію, гідроксид кальцію та ін.) та поверхнево активних речовин (ПАР). Проблемами для впровадження біогазових технологій як способу утилізації таких відходів є:

- по-перше, для забезпечення життєдіяльності асоціації мікроорганізмів-деструкторів високомолекулярних сполук та продуцентів метану сировина повинна містити біогенні елементи, що задіяні в процесах метаболізму, і які відсутні або містяться у недостатній кількості у відходах виробництва шкіри;
- по-друге, для проходження процесу метаногенезу необхідно підтримувати раціональне співвідношення елементів C/N, що забезпечує оптимальні параметри процесу метаногенезу [4]. Жировмісна сировина містить недостатню кількість нітрогену для забезпечення співвідношення (30-25):1, що не дає змогу інтенсифікувати процес зброджування;
- по-третє, в процесі гідролізу жировмісної сировини утворюються кислоти, що може призвести до закиснення середовища, і, відповідно, зниження швидкості процесу метаноутворення аж до повного його припинення. Тому для одержання біогазу з жировмісної сировини необхідно здійснювати регуляцію значення pH середовища [5];
- по-четверте, жировмісні відходи виробництва шкіри містять значну кількість неорганічних солей та ПАР, що негативно впливає на розвиток асоціації мікроорганізмів.

Одним з прийомів вирішення вище перелічених проблем є використання косубстратів, які зможуть забезпечити необхідний вміст нітрогену та мікроелементів, регулювати pH середовища зброджування та призвести до зниження концентрації солей не знижуючи швидкість процесу метаногенезу.

Виходячи з вищенаведеного, дослідження утворення та підвищення виходу біогазу шляхом коферментації жировмісної сировини є актуальною задачею для створення технології утилізації відходів шкіряного виробництва з одночасним одержання біогазу.

Найбільш доцільним косубстратом є послід птахів. Такий вибір косубстрату оснований на тому, що послід містить:

- значну кількість сполук нітрогену, що дає змогу створити раціональне співвідношення C/N;
- усі мікроелементи, які необхідні для розвитку мікроорганізмів;

- компонентний склад посліду дає змогу підтримувати значення pH в діапазоні 6,5–7,5.

В залежності від компонентного складу жировмісних відходів та їх співвідношення з послідом буде змінюватися процес бродіння і, відповідно, кількісні та якісні показники біогазу.

Робота присвячена дослідженню процесу коферментації жировмісної сировини і посліду для подальшого створення технології зброджування відходів шкіряного виробництва.

Аналіз літературних джерел

Субстрати, які найчастіше використовуються для анаеробної ферментації з метою отримання біогазу, – це гній великої рогатої худоби (ВРХ) (54%), осади стічних вод (22%) та тверді побудові відходи (11%). Для поліпшення процесу переробки відходів даним способом, у якості косубстратів використовують промислові відходи (41%), сільськогосподарські відходи (23%) та муніципальні відходи (20%) [6]. Коферментація в анаеробному зброджуванні застосовується з метою підвищення ефективності процесу (врегулювання співвідношення C/N та pH) [7].

У роботі [8] розглядається сумісна коферментація жировмісних відходів шкіряного виробництва (міздра) з мулом очисних споруд у співвідношенні 3:2. Вихід біогазу складає 62,4 $м^3$ з тони сировини за добу з вмістом метану 73%. При цьому досягається ступінь переробки жирових відходів 60%.

Додавання органічної фракції твердих побутових відходів як косубстрату до жирових відходів бійні знижує вихід метану. Отриманий при коферментації біогаз містив 61,9±1,4% метану, а без додавання косубстрату – 65,6±0,3% [9].

Також зниження вмісту метану в біогазі при коферментації з твердими побутовими відходами у співвідношенні 1:5 спостерігали при використанні попередньо оброблених відходів бійні (20 хв при 133 °C, тиск більше 3 бар). Вміст метану в біогазі без додавання косубстрату становив 59,8±0,4%, з косубстратом – 53,5±1,0% [10].

Використання перероблених відходів рису як косубстрату при коферментації з відходами шкіряної промисловості (мокра стружка та осад від локальної установки очистки стічних вод) навпаки призводить по підвищення виходу біогазу з 23 мл до 47 мл, однак спостерігається підвищення у біогазі не метану, а молекулярного водню з 25 до 75 % [11].

Однак, додавання гною ВРХ та побутових стічних вод до відходів шкіряної промисловості призводить до врівноваження pH та збільшення співвідношення C/N. При чому вихід біогазу при оптимальній концентрації за СОР (6 % в реакторі) складає 0,476 л з 1 г летких твердих речовин, вміст метану за таких умов – 73% [12].

Метою роботи є встановлення раціонального співвідношення косубстратів - жировмісних відходів шкіряного виробництва і посліду для одержання максимального виходу біогазу.

Для досягнення мети вирішували такі задачі:

- дослідити динаміку зміни виходу біогазу в процесі коферментації посліду та жировмісних відходів виробництва;
- визначити раціональне співвідношення жировмісних відходів і посліду для одержання максимального виходу енергоносія.

Виклад основного матеріалу

Як модельний субстрат було обрано перетоплений свинячий жир – відходи виробництва шкірзаводу «Чинбар» (м. Київ, Україна), який за своїм компонентним складом містить до 3% NaCl (за масою).

Курячий послід брали з фермерського господарства (Житомирська обл., Україна) з безпідстилковим способом утримання птиці.

Визначення pH середовища проводили за допомогою іонометра МИ-150.

Визначення маси сировини проводили за допомогою аналітичної ваги Scout PRO модель SPE-123 з похибкою не більше 0,01 г. Визначення вологості та зольності проводили за стандартними методиками у трьох повторностях [13–15].

Якісний та кількісний склад компонентів біогазу визначали за допомогою газового хроматографа ЛХМ–8–Д (СРСР) за стандартною методикою [16].

Процес зброджування проводили в анаеробних умовах у мезофільному режимі при температурі 37 ± 1^0C в сухо-повітряному термостаті ТС–80М без перемішування. Використовували реактори об’ємом 0,5 $дм^3$ з коефіцієнтом заповнення 0,8. Співвідношення косубстратів (жировмісна сировина: курячий послід) становило: 9:1, 4:1, 7:3, 3:2, 1:1, відповідно.

Раціональний вміст сухої органічної речовини в реакторі складав 7,5 % [3]. Як інокулят використовували зброджену фракцію з лабораторних метантенків кафедри екобіотехнології та біоненергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» (м. Київ, Україна). Кількість інокуляту – 3,5 г за СОР. Для рівномірного розподілу жирового косубстрату в об’ємі метантенка і запобіганню його спливанню, косубстрат наносили на поверхню волокнистого інертного носія.

В табл. 1 наведено вміст сухої речовини та зольності в косубстратах, що досліджували. Як видно з табл.1, високий вміст неорганічних сполук характерний для посліду, який є джерелом мікроелементів, необхідних для розвитку мікроорганізмів. Жировмісна сировина містить незначну кількість мінеральних речовин, однак є багатою на органічну речовину – основну сировину, з якої отримують біогаз.

Таблиця 1

Вміст сухої речовини та зольності косубстратів

№	Косубстрат	Вологість, %	Зольність,%	СОР,%
1	Жировмісна сировина	1,9±0,095	0,13±0,007	97,97±4,90
2	Послід	61,1±3,05	28,9±1,445	10±0,5

На рис.1 наведено щодобовий вихід біогазу в залежності від співвідношення косубстратів протягом 23 діб ферментації. Для усіх співвідношень косубстратів, окрім 3:2, початок газоутворення спостерігався на 4-5 добу. Газ, що утворюється на початку процесу, має низький вміст метану. Для субстратів, що містять співвідношення жир/послід 7:3 та 4:1, характерний загальний низький вихід біогазу (рис. 2) з максимальним виходом на 12 добу, після чого процес зброджування починає затухати. Таку залежність можна пояснити достатньо швидким утворенням органічних кислот, які не є субстратами для подальшого перетворення у метан, і призводять до зниження значення pH.

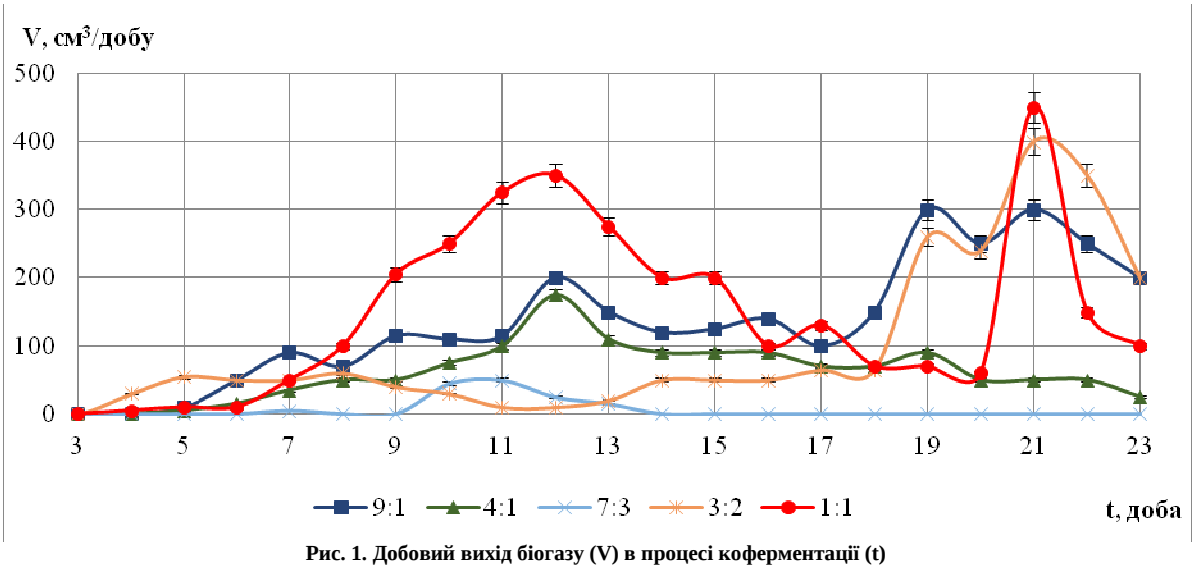


Рис. 1. Добовий вихід біогазу (V) в процесі коферментації (t) залежності співвідношення косубстратів жировмісна сировина/послід

Також, оскільки не відбувалось постійного перемішування, то кислоти, що утворюються на поверхні жирової фракції, перешкоджають доступу мікроорганізмів до нового субстрату. Це призводить до призупинення процесу розкладу високомолекулярних сполук та метаноутворення в процесі ферментації. За таких умов відбувається утворення водню за реакцією:

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 4H_2 + 2CO_2 + 2CH_3COOH \quad (1)$$

без подальшого його перетворення у метан, про що свідчать дані газової хроматографії. При цьому вміст водню в газовій фазі збільшується до 12%.

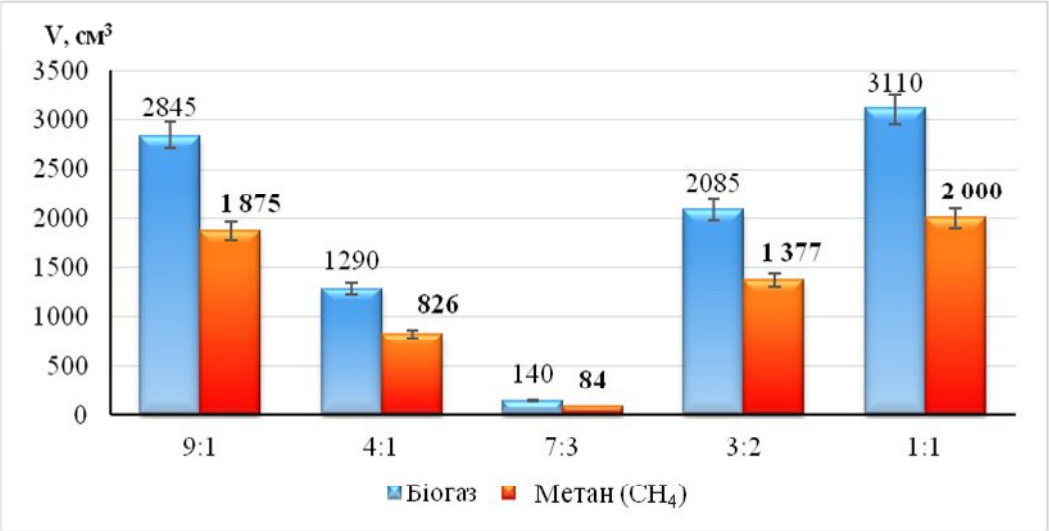


Рис. 2. Загальний вихід метану та біогазу (V) в залежності від співвідношення косубстратів жировмісна сировина/послід в процесі зброджування протягом 23 діб

Послід птахів містить у своєму складі продукти білкової природи (від 20 до 35,6%) [17], для яких

необхідний більший час лаг-фази для початку ферментації. В цей період за переваги маси жиру у 2,3–4 рази відбувається швидке закиснення середовища, що призводить до уповільнення перетворення сполук посліду у метан. Значення pH середовища досягає 5,76. Цим можна пояснити низький вихід біогазу при збільшенні вмісту посліду в середовищі.

При збільшенні та зменшенні вмісту посліду (співвідношення жир/послід 9:1, 3:2, 1:1) спостерігається підвищення виходу біогазу. Максимальний вихід біогазу за досліджуваних співвідношень косубстратів характерний для співвідношення жир/послід 1:1 (рис. 2). За таких умов крива виходу має два піки на 12 та 19 добу (рис.1). Підвищений вихід біогазу при вмісті косубстратів 1:1 пояснюється створенням раціональних умов для утилізації поживних речовин як жиру, так і посліду. Збільшення виходу біогазу на 18 добу для усіх співвідношень компонентів можна пояснити інтенсифікацією процесу метаногенезу з посліду після утилізації жировмісних відходів. Для співвідношень косубстратів 9:1, 3:2 та 1:1 на початку процесу (до 7 доби) вміст метану в біогазі становить 15-45%. Починаючи з 8 доби концентрація метану в біогазі становить 50% і зростає до 70–72% на 12 добу і далі. Сумарний загальний вміст метану у біогазі протягом всього терміну ферментації для співвідношення жир/послід 3:2 та 9:1 становить 66 ± 2,6%, для співвідношення косубстратів 1:1 – 64 ± 1,8%. Тобто за використання співвідношення косубстратів 1:1 вихід біогазу та метану в ньому на 8,5 ± 0,4% та 6 ± 0,25% більше, ніж за використання співвідношення жир/послід (9:1).

Такий вихід можна пояснити тим, що при співвідношенні косубстратів 1:1 метан утворюється як з жиру, так і посліду. І як відомо, що найвищий вихід метану характерний для білкової сировини [18]. У випадку співвідношення косубстратів (9:1), біогаз утворюється в основному з жиру, а послід є джерелом мікроелементів, вітамінів та інших біологічно активних речовин для розвитку асоціації мікроорганізмів.

Оскільки метою технологічних рішень одержання біогазу є переробка жировмісних відходів шкіряного виробництва, які містять значну кількість солей, то за концентрації солей у 3% раціональним співвідношенням компонентів субстрату жир/послід є 9:1.

Висновки

Показано, що для переробки відходів виробництва шкіри у біогаз можливо використовувати як косубстрат послід, що дає змогу забезпечити раціональне співвідношення C/N для процесу метаногенезу та забезпечити необхідними мікроелементами для розвитку асоціацію мікроорганізмів.

Визначено, що при коферментації жировмісної сировини з послідом вихід біогазу та вміст метану в ньому залежить від співвідношення косубстратів. Максимальний вихід біогазу характерний для співвідношення жир/послід 1:1 (64 ± 1,8% метану), за співвідношення 9:1 вихід біогазу знижується на 8,5 ± 0,4% при вмісті метану 66 ± 2,64%. При збільшенні концентрації посліду до 4:1 вихід біогазу складає 45 ± 1,8% від його виходу при співвідношенні компонентів 9:1.

Встановлено, що для одержання біогазу з жировмісних відходів шкіряного виробництва раціональним є співвідношення жир/послід 9:1.

Література

1. Офіційний сайт державної служби статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.ukrstat.gov.ua/.

2. Державна фіскальна служба України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://sfs.gov.ua/ms/f11.

3. Голуб Н. Б. Одержання біогазу при зброджуванні жировмісних відходів шкіряного виробництва / Н. Б. Голуб, М. В. Шинкарчук, О. А. Козловець // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2017. – № 6/10 (90). – С. 4–9.

4. U.C. Okonkwoa, E. Onokpite, A.O. Onokwai “Comparative study of the optimal ratio of biogas production from various organic wastes and weeds for digester/restarted digester”, Journal of King Saud University, Engineering Sciences, 2016, pp. 1–7.

5. Ye. Rongzhong, Jin Qusheng, Bohannan Brendan, Jason K. Keller, Steven A. McAllister, Scott D. Bridgham “pH controls over anaerobic carbon mineralization, the efficiency of methane production, and methanogenic pathways in peatlands across an ombrotrophic–minerotrophic gradient”, Soil Biology & Biochemistry, № 8, 2012, pp. 36–47.

6. J. Mata-Alvarez, J. Dosta, M.S. Romero-Güiza, X. Fonoll, M. Peces, S. “Astals A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, № 36, 2014, pp. 412–427.

7. Gopi Krishna Kafle, Sang Hun Kim “Anaerobic treatment of apple waste with swine manure for biogas production: Batch and continuous operation”, Applied Energy, № 103, 2013, pp. 61–72.

8. Ajit K. Gupta “Biomethanation plant based on tannery fleshing and cetp sludge at Melvisharam, Tamil Nadu”, Green energy from wastes. Biomethanation Projects for Urban and Industrial Wastes set up under UNDP/GEF assisted Project on Development of High Rate Biomethanation Processes as means of Reducing Greenhouse Gases Emission, 2006, pp. 15–18.

9. M.J. Cuetos, X. Gymez, M. Otero, A. Moran “Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW)”,

Biochemical Engineering Journal, № 40, 2008, pp. 99–106.

10. M.J. Cuetos, X. Gymez, M. Otero, A. Moran “Anaerobic digestion and co-digestion of slaughterhouse waste (SHW): Influence of heat and pressure pre-treatment in biogas yield”, Waste Management, № 30, 2010, pp.1780-1789.

11. Jayna Pessuto, Marcelo Godinho, Aline Dettmer “Biogas production from tannery wastes. Evaluation of isolated microorganisms effect”, XXXIII IULTCS Congress in Novo Hamburgo (Brazil), 2015, pp. 1–10.

12. S.R. Basak, M.A. Rouf, M.D. Hossain, M.S. Islam, T. Rabeya “Anaerobic digestion of tannery solid waste by mixing with different substrates”, Bangladesh J. Sci. Ind. Res, № 49(2), 2014, pp. 119–124.

13. ГОСТ 26712–94. Органические удобрения. Общие требования к методике анализа // Государственные стандарты СССР. – Москва, 1986. – 3 с.

14. ГОСТ 26713–85. Органические удобрения. Методика определения влаги и сухого остатка // Государственные стандарты СССР. – Москва, 1986. – 3 с.

15. ГОСТ 26714–85. Органические удобрения. Методика определения золы // Государственные стандарты СССР. – Москва, 1986. – 2 с.

16. Лейбниц Э. Руководство по газовой хроматографии. Т. 1 / Э. Лейбниц, Х.Г. Штруппе. – Издательство Мир, 1988. – 480 с.

17. Офіційний сайт Державної дослідної станції птахівництва НААН [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://avianua.com/ua/index.php/statty_po_pticevodstvu/tekhnolohiia-ptakhivnytstva/40-ptashinij-poslid-himichnyj-sklad.

18. Руководство по биогазу. От получения до использования. – 5-е издание. – Агенство по возобновляемых ресурсам, 2010. – 215 с.

References

1. Ofitsiynyy sayt derzhavnoyi sluzhby statystyky Ukrayiny. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: http://www.ukrstat.gov.ua/.

2. Derzhavna fiskal’na sluzhba Ukrayiny [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: http://sfs.gov.ua/ms/f11.

3. Holub N. B. Oderzhannya biohazu pry zbrodzhuvanni zhyrovmisnykh vidkhodiv shkiryanoho vyrobnytstva / N. B. Holub, M. V. Shynkarchuk, O. A. Kozlovets’ // Vostochno-Evropeyskyy zhurnal peredovikh tekhnolohyy. – 2017. – 6/10 (90). – S. 4–9.

4. U.C. Okonkwoa, E. Onokpite, A.O. Onokwai “Comparative study of the optimal ratio of biogas production from various organic wastes and weeds for digester/restarted digester”, Journal of King Saud University, Engineering Sciences, 2016, pp. 1–7.

5. Ye. Rongzhong, Jin Qusheng, Bohannan Brendan, Jason K. Keller, Steven A. McAllister, Scott D. Bridgham “pH controls over anaerobic carbon mineralization, the efficiency of methane production, and methanogenic pathways in peatlands across an ombrotrophic–minerotrophic gradient”, Soil Biology & Biochemistry, № 8, 2012, pp. 36–47.

6. J. Mata-Alvarez, J. Dosta, M.S. Romero-Güiza, X. Fonoll, M. Peces, S. “Astals A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, № 36, 2014, pp. 412–427.

7. Gopi Krishna Kafle, Sang Hun Kim “ Anaerobic treatment of apple waste with swine manure for biogas production: Batch and continuous operation”, Applied Energy, № 103, 2013, pp. 61–72.

8. Ajit K. Gupta “Biomethanation plant based on tannery fleshing and cetp sludge at Melvisharam, Tamil Nadu”, Green energy from wastes. Biomethanation Projects for Urban and Industrial Wastes set up under UNDP/GEF assisted Project on Development of High Rate Biomethanation Processes as means of Reducing Greenhouse Gases Emission, 2006, pp. 15–18.

9. M.J. Cuetos, X. Gymez, M. Otero, A. Moran “Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW)”, Biochemical Engineering Journal, № 40, 2008, pp. 99–106.

10. M.J. Cuetos, X. Gymez, M. Otero, A. Moran “Anaerobic digestion and co-digestion of slaughterhouse waste (SHW): Influence of heat and pressure pre-treatment in biogas yield”, Waste Management, № 30, 2010, pp.1780-1789.

11. Jayna Pessuto, Marcelo Godinho, Aline Dettmer “Biogas production from tannery wastes. Evaluation of isolated microorganisms effect”, XXXIII IULTCS Congress in Novo Hamburgo (Brazil), 2015, pp. 1-10.

12. S.R. Basak, M.A. Rouf, M.D. Hossain, M.S. Islam, T. Rabeya “Anaerobic digestion of tannery solid waste by mixing with different substrates”, Bangladesh J. Sci. Ind. Res, № 49(2), 2014, pp. 119–124.

13. HOST 26712–94. Orhanycheskye udobrenyya. Obshchye trebovanyya k metodyke analyza // Hosudarstvennye standarty SSSR // Moskva. – 1986. – 3 s.

14. HOST 26713–85. Orhanycheskye udobrenyya. Metodyka opredelenyya vlahy y sukhoho ostatka // Hosudarstvennye standarty SSSR // Moskva. – 1986. – 3 s.

15. HOST 26714–85. Orhanycheskye udobrenyya. Metodyka opredelenyya zoly // Hosudarstvennye standarty SSSR // Moskva. – 1986. – 2 s.

16. Leybnyts E. Rukovodstvo po hazovoy khromatohrafyy. T. 1. [Tekst] / E. Leybnyts, Kh.H. Shtruppe // Yzdatel’stvo Myr, 1988. – 480 s.

17. Ofitsiynyy sayt Derzhavnoyi doslidnoyi stantsiyi ptakhivnytstva NAAN. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: http://avianua.com/ua/index.php/statty_po_pticevodstvu/tekhnolohiia-ptakhivnytstva/40-ptashinij-poslid-himichnyj-sklad.

18. Rukovodstvo po byohazu. Ot poluchenyya do yspol’zovanyya. 5-e yzdanye / Ahenstvo po vozobnovlyaemykh resursam, 2010. – 215 c.

Отримана/Received : 09.02.2018 р. Надрукована/Printed :24.3.2018 р.
Рецензент: Саблій

УДК 662.7

А.Я. ГАНЗЮК
Хмельницький національний університет
О.П. ШЕЛЕСТЮК, О.М. МІЩУК
Хмельницький науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України

КОМПОЗИЦІЙНІ ОРГАНОМІНЕРАЛЬНІ АДСОРБЕНТИ НА ОСНОВІ ПРИРОДНИХ АЛЮМОСИЛІКАТІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ БЕНЗИНІВ

З метою зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та збереження водних ресурсів розроблена технологія одержання і використання нових ефективних сорбентів на основі природних алюмосилікатів. В роботі досліджено можливість використання модифікованих сапонітових глин у якості ефективних сорбційних матеріалів в процесах очищення нафтопродуктів. Проаналізовано їх детальний вуглеводневий склад та оцінено основні показники бензинів до та після очищення. Проведено порівняльний аналіз існуючої та удосконаленої технології гідрофобізації природних глинистих матеріалів. Отримані органо-мінеральні сорбційні матеріали на основі сапонітових глин можна використовувати в якості наповнювачів полімерних середовищ і пластифікаторів, а також у виробництві нафтових сорбентів.

***Ключові слова**: адсорбція, нафтопродукти, хроматографія, октанове число, сапоніт, тиск насиченої пари.*

A.Y.GANZYUK
Khmelnytsky National University
O.P. SHELESTIYK, O.M. MISHCHUK
Khmelnytsky Research-Science Forensic Centre of Ministry of Internal Affairs of Ukraine

COMPOSITE ORGANOMINERAL ADSORPENTS BASED ON NATURAL ALUMINUM POLLUTANTS FOR PETROL CLEANING

The possibility of modified saponite clays using as efficient sorption materials in the purification processes of petroleum products. The detailed hydrocarbon analysis of treated gasoline were made. The main characteristics of gasolines treated by modified saponite sorbents was estimated by chromatography methods. The possibility of modified saponite clays using as efficient sorption materials in the purification processes of petroleum products. The detailed hydrocarbon analysis of treated gasoline were made. The main characteristics of gasolines treated by modified saponite sorbents was estimated by chromatography methods. The saponite application in the forensic research to detect trace amounts of combustible liquids as material evidence from the place of fire were confirmed. We used natural mineral sorbents of different degrees of dispersion, their activated and modified forms for cleaning of gasoline with octane number 92 resulting in increase in octane number of gasoline up to 95 and more which was determined by research and motor methods. Treatment of gasoline by sorbent was carried out for 5 min. using ultrasound system then sorbent was separated by centrifugation and settled as sediment. Sorption capacity of hydrophobic sorbents for petroleum products is from 14.4 to 16.6 g/g, sorption capacity for dissolved and emulsified petroleum is from 292 to 315 mg/g. Refined gasoline was investigated using gas chromatography with high degree of resolution. Changes in the structure of clay have been analyzed with infrared spectroscopy. Comparative analysis of the existing and improved technologies of hydrophobization of natural clay materials has been conducted. As a conclusion, the obtaining of organic-mineral sorption materials on the basis of saponite clay enables to use them as fillers of polymer environment and fluidizing agents, as well as in production of oil sorbents.

***Keywords**: adsorption, petroleum products, chromatography, octane rating, saponite, vapor pressure.*

Серед глобальних проблем, з якими зіштовхнулося людство в 21 столітті найважливішими є: енергетична криза, глобальна зміна клімату, нестача водних ресурсів, політична та соціальна напруженість деяких регіонів світу. Через стрімке економічне зростання країн, що розвиваються, виникає потреба в ефективному енерго- та водопостачанні виробничих галузей економіки. Сьогодні витрати на виробництво продукції можуть оцінюватися вже не у валюті, а у витратах енергії і води. Тому дослідження, пов'язані з розробкою технології отримання високооктанових бензинів за допомогою очищення органоглинами, є безумовно актуальними.

Винахід відноситься до технології виробництва сорбентів, зокрема до способів отримання сполучного з природного сапоніту для виготовлення гранульованих сорбентів, призначених для використання в якості фільтруючої і сорбційної загрузки, здатної замінити активоване вугілля, аніонно-катіонні смоли, зворотно-осмотичні мембрани, і можуть бути використані при очищенні питної води і промислових стоків від техногенних забруднювачів (важких металів, нафтопродуктів, органіки, пестицидів, радіонуклідів) [1–3]. Для зниження вартості сорбенту і поліпшення його фільтруючих характеристик в складі органо сорбенту використовується дешевий мінерал сапоніт в якості неорганічної основи. З метою отримання гідрофобних нафтових сорбентів, які характеризуватимуться високою плавучістю та сорбційною здатністю, були проведені дослідження по модифікації їх поверхні емульсіями поліорганосилоксанів на водній основі, встановлювалися оптимальні концентрації і їх витрати по відношенню до маси сорбента. В кінцевому підсумку завдання адсорбційного модифікування полягає в утворенні на поверхні сапоніту моно або субмономолекулярного покриття (рис. 1).

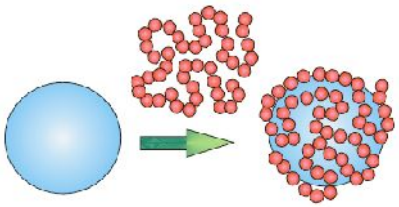


Рис. 1. Схематичне зображення моношарового полімерного покриття на поверхні частинки

Технологічна схема отримання органо-мінерального сорбційного матеріалу на основі сапонітової глини включає три послідовні операції: попередня сушка матеріалу, гідрофобізація та охолодження

обробленого матеріалу до температури оточуючого середовища. Тобто сапонітову глину готували шляхом дроблення кускового природного мінералу в фарфоровій ступці, просіювали через сита з розмірами комірки 1,0 мм із нержавіючої сталі, зберігали при нормальній температурі 20 ± 2 ºС та відносній вологості $\varphi = 65\%$.

З метою утворення вторинної розвинутої пористості мінералу, його прокалювали при 100°С на протязі 2 годин, змішували із гідрофобізатором ПМС (поліметилсилоксан) чи ПДМС (полідиметилсилоксан) концентрацією від 20 до 35 % у співвідношенні Т:Р=2:3. Модифікацію проводили при температурі 40–60°С протягом 4 годин у реакторі з безперервним перемішуванням. Осад промивали дистильованою холодною та теплою водою, відфільтровували та сушили при 50 °С протягом 2 годин.

Для оцінки термохімічних перетворень, що відбуваються у системі сапоніт-модифікатор, провели термічні дослідження цієї системи, які включають диференційно-термічний та термогравіметричний аналізи. При цьому визначено енергетичні зміни у досліджуваних зразках сапонітових глин та встановлено температурні інтервали перетворень. Підвищення точності визначення температур перетворення здійснювали шляхом попереднього запису базисної лінії при нагріванні. Температури початку перетворення визначали за відхиленням кривих ДТА від базисної лінії з врахуванням зміни їх положення. Термічні криві (ДТА, ДТГ, ТГ) природного та модифікованого ПМС сапоніту наведені на рис. 2

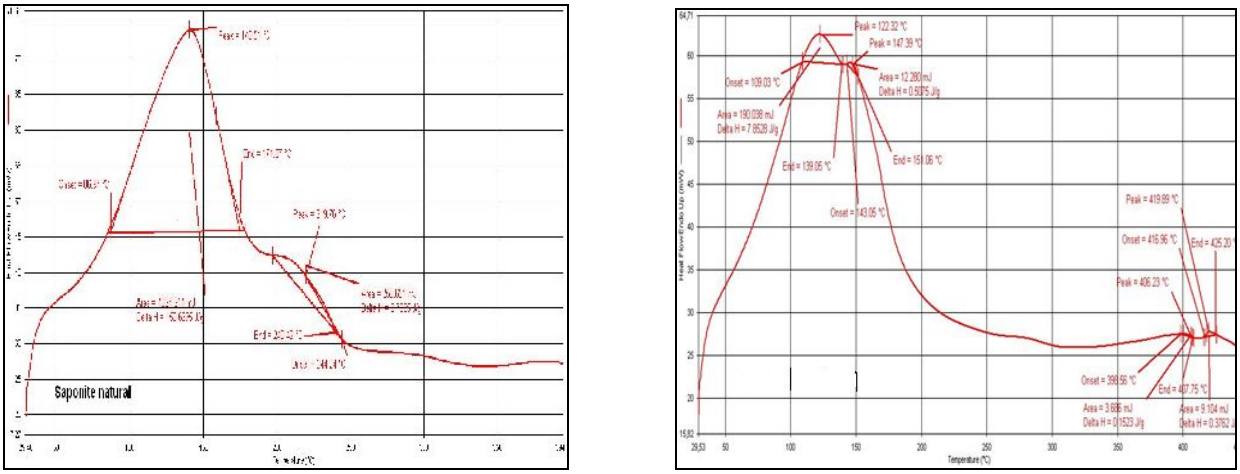


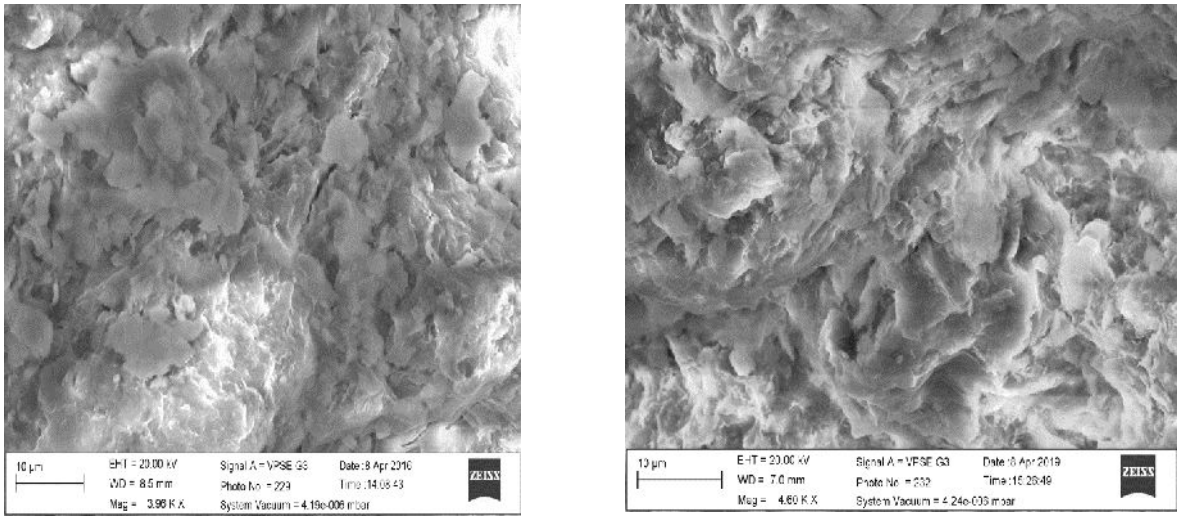
Рис. 2. Термічні криві (ДТА, ДТГ, ТГ) природного сапоніту та модифікованого ПМС

Криві ДТА дають можливість визначити і ідентифікувати такі реакції, які протікають в глинах при термічній деструкції, як перегрупування та утворення поперечних зв'язків і виявити незначні зміни в складі сапонітової породи, або наявність замісників в основному ланцюгу, що може бути корисним для дослідження механізму модифікації. Дані ДТА свідчать про те, що за низьких температур (від 80–240 ºС) відбувається ендотермічний процес з вилученням вологи із зразка. Наступний екзотермічний процес пов'язаний з дегідратацією за рахунок видалення кристалізаційної води. Потім при 250 ºС починається процес кристалізації, який закінчується за різних температур: в природному зразку сапонітової породи – при температурах 250 та 600 ºС, а модифікованого ПМС – 250 і 550 ºС. Площа піка при деструкції природного зразка сапонітової глини, практично співпадає з площею зразка породи, модифікованої ПМС, що свідчить про те, що для утворення зв'язків в мінералі треба витратити дещо більше енергії. Максимальна швидкість перетворення і втрата маси в модифікованому зразку дещо менша, ніж у природному. Таким чином, результати проведених термічних досліджень показали, що модифікація природних сорбційних матеріалів поліметилсилоксановою емульсією не суттєво впливає на показники термостійкості і процеси деструкції в системі сапоніт–модифікатор.

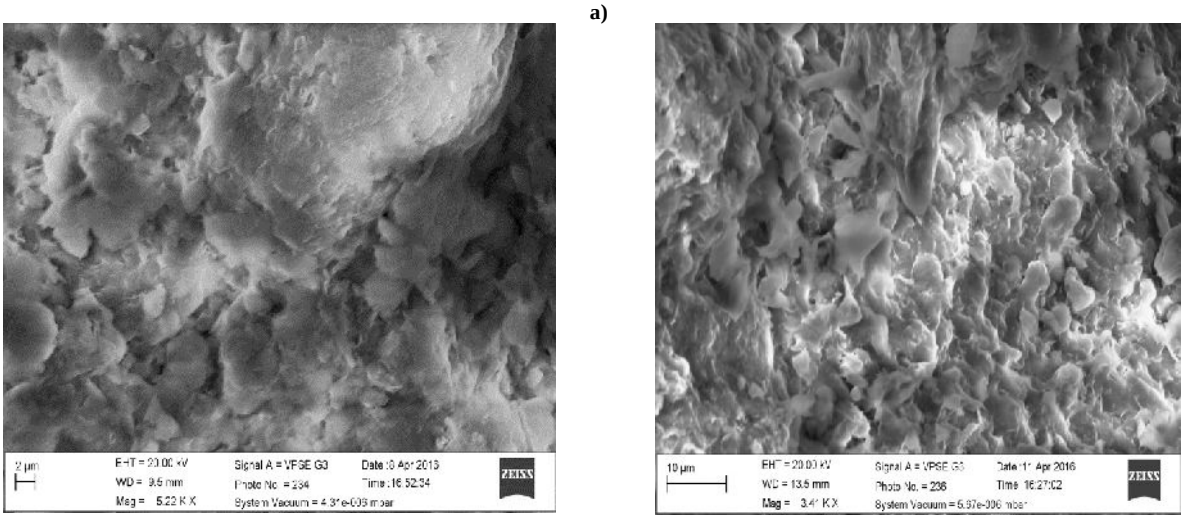
На електронно-мікроскопічних знімках (рис. 3) зображено морфологію [10] для даного глинистого мінералу та його модифікованих форм, яка представлена структурою у вигляді пластинчастих шарів.

Елементний склад модифікованих смектитових глин досліджували на аналізаторі EXPERT 3L (НВП Інститут аналітичних методів контролю, Київ, Україна). До хімічного складу модифікованої поліорганосилоксанами сапонітової породи Ташківського родовища входять, мас. %: SiO_2 – від 59,50 до 62,45; Fe_2O_3 – від 15,04 до 16,68; Al_2O_3 – від 12,72 до 13,01 ; MgO – від 4,94 до 6,65; TiO_2 – від 1,64 до 1,91; MnO_2 – від 0,29 до 0,36; V_2O_5 – 0,1117.

Результати ртутної порометрії показали, що загальний об'єм пор змінюється від 0,5222 у природного сапоніту до 0,5180 мл/г для модифікованого ПДМС, загальна площа пор зменшується від 26, 925 до 13,207 $м^2/г$, пористість зростає від 47,0422 до 54,1814%, а об'єм, який використовується, знаходиться в межах 65–84%. Використання мінералів не призводить до зниження його сорбційної здатності, оскільки рівномірний розподіл полімеру на мінеральній основі у вигляді плівки, обсяг якої практично повністю доступний для дифузії в неї вуглеводневого сорбата, в поєднанні з дією органічного пластифікатора дозволяє збільшити ємність сорбції через відсутність дифузійних утруднень при взаємодії сорбенту з вуглеводнем [4–9]. Рівномірний розподіл модифікованого шару на поверхні мінеральних часток досягається одночасним введенням в реактор модифікатора і пластифікатора в вигляді рідкої суміші (розчину або розплаву).

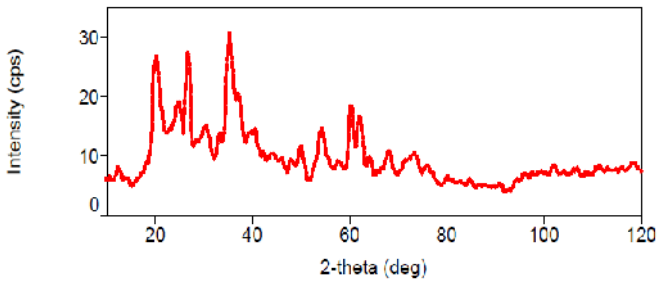


a)

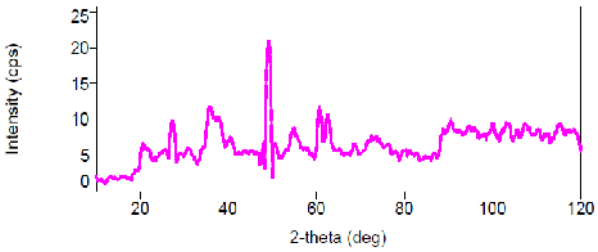


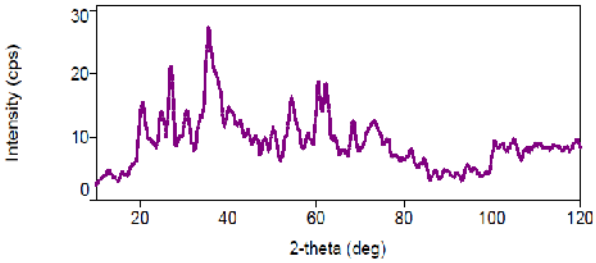
b)

Рис. 3. Мікрофотографії СЕМ зразка сапоніту: a) природний, модифікований ПМС і ПДМС; b) кислотно активований, модифікований ПМС і ПДМС



a) природний сапоніт





b) сапоніт, модифікований ПМС **c) сапоніт, модифікований ПДМС**

Рис. 4. Дифрактограми природного сапоніту і модифікованого ПМС і ПДМС

Метод дифракції рентгенівських променів дозволяє якісно та кількісно визначати фазовий склад кристалічних зразків. Його проводили за допомогою дифрактометра MiniFlex 600 (Rigaku, Японія) з використанням монохроматичного $Cu_{K\alpha}$ випромінювання (λ=1,5418 Å). Рентгенівська трубка працювала в такому режимі: напруга – 40 кВ, струм – 15 мА. Швидкість сканування 1-4°/хв, а діапазон кутів сканування 2θ від 10 до 120°. Інтерпретацію фазового складу проводили з використанням аналітичного програмного

забезпечення PDXL-2. Результати досліджень наведено на рисунку 4., що підтверджують напіваморфність отриманих органоглин.

При отриманні високого гідрофобного ефекту важливо не понизити адсорбційні характеристики мінералу. Так як за допомогою сорбційних властивостей сапонітів можна зменшити токсичні викиди автомобілів [11–13], тому перспективний шлях отримання моторних палив високої якості і з пониженою токсичністю полягає у видаленні низько октанових олефінових вуглеводнів. Даний мінерал адсорбує парафіни з критичним діаметром молекул 0,49 нм, не поглинаючи при цьому ароматичних, і, частково, нафтенових та ізопарафінових вуглеводнів [8]. Дослідження проведено за допомогою газового хроматографа «Кристал – 2000М» з використанням програми «Gazolin». Результати показників октанового числа, вагового вмісту вуглеводнів (у %), тиску насиченої пари, відносної густини у контрольній та очищених пробах бензину марки А-92 (компанії «Укрнафта»), наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати показників октанового числа, вагового вмісту (у %) вуглеводнів у контрольній та очищених пробах бензину марки А-92 (компанії «Укрнафта»), тиску насиченої пари та відносної густини

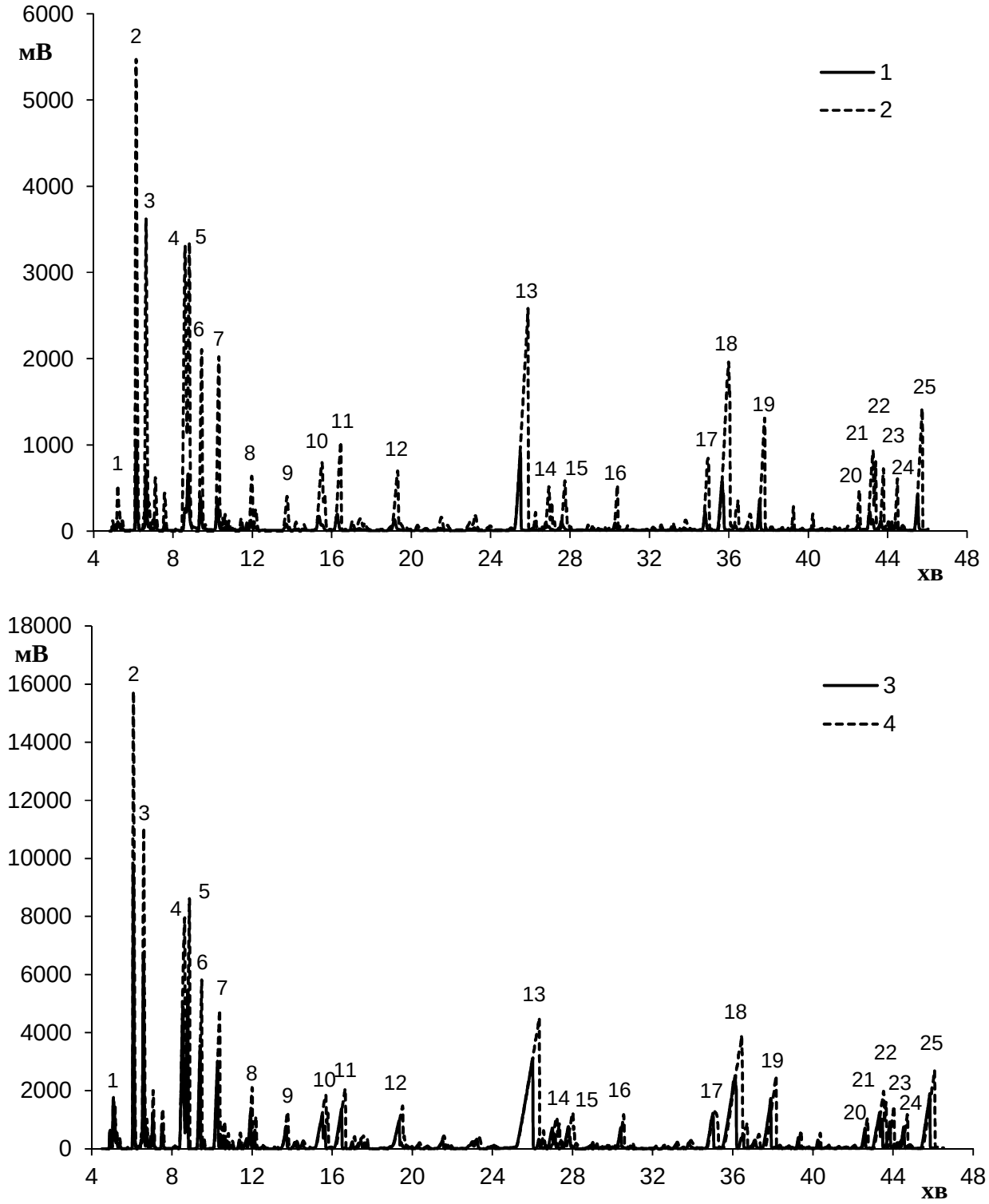
Вид модифікованого сапоніту	Октанове число дослідницький / моторний методи	Вміст ароматичних фракцій %	Парафіни %	Олефіни %	Ізопарафіни %	Нафтени %	Тиск насиченої пари, кПа	Відносна густина, г/см^3
Контрольна проба А-92	91,47 /81,81	30,80	10,68	9,55	32,19	12,72	40,58	0,743
А-92, очищений природним та модифікованим ПМС 30%	99,49 /79,36	36,04	13,30	4,76	33,30	7,82	42,45	0,74
А-92, очищений природним та модифікованим ПДМС 30%	102,42/ 80,35	31,86	12,83	5,56	32,98	13,09	49,69	0.73
А-92, очищений кислотно активованим та модифікованим ПМС 30%	96,48 / 78,70	34,20	13,51	5,03	34.02	8,46	45,59	0,74
А-92, очищений кислотно активованим та модифікованим ПДМС 30%	101, 27/ 80,71	33,76	13,24	5.03	30,18	14,19	46,67	0,74

Досягненню технічного результату сприяє те, що поліорганосилоксани володіють хорошою адгезією до природного мінералу, рівномірно розподіляються і повністю покривають його поверхню і, при цьому, не розчиняються у нафтопродукті. Крім цього, виключається додаткове введення активних речовин у сорбент, що забезпечують збільшення нафтоємності отриманого матеріалу. В табл. 2 наведено порівняльний аналіз існуючої та удосконаленої технології гідрофобізації глинистих матеріалів

Таблиця 2

Порівняльний аналіз існуючої та удосконаленої технології гідрофобізації алюмосилікатів

Існуюча технологія гідрофобізації	Удосконалена технологія гідрофобізації
1. Термічна обробка:	
від 700 до 900 °С	100 ° С – 2 год
2. Середовище:	
органічне (гептан 1:40)	неорганічне (вода)
3. Температура обробки гідрофобізації:	
100 ° С	до 40 ° С
4. Час обробки:	
8 год	4 год
5. Сушіння:	
- при 150 ° С – 4 год	- при 50 ° С – 2 год
- в потоці ІЧ випромінювання при t = 40–100° С	-



1-2. Сапоніт природний, модифікований ПМС і ПДМС.
3-4. Кислотно-активований сапоніт, модифікований ПМС і ПДМС.
Рис. 5. Фрагменти хроматограм бензинів марки А-92, очищених природними і кислотно активованими сапонітами, модифікованими поліорганосилоксанами

Таким чином, отримано органо-мінеральні гідрофобні матеріали на основі глин смектитової групи, вивчено структурно-адсорбційні характеристики та проведено порівняльний аналіз існуючої та удосконаленої технології гідрофобізації природних глинистих матеріалів. Отриманий за запропонованою технологією органо-мінеральний сорбційний матеріал на основі сапонітової глини не змінює свого гранулометричного складу, насипної маси, густини, пористості та показників міцності, робочий діапазон pH=6,5-7, екологічно-безпечний, характеризується високою селективністю та плавучістю. Поглинаюча здатність отриманого адсорбенту по нафтопродуктах становить від 14,4 до 16,6 г/г, сорбційна ємність по розчиненим і емульгованим нафтопродуктам від 292 до 315 мг/г. Технологія отримання гідрофобного сорбційного матеріалу на основі сапонітової глини характеризується при цьому низькою енерго- і трудомісткістю. Пропонований спосіб надає одержуваному пластифікованому полімерному покриттю

гомогенність, що забезпечує його високу сорбційну ємність відносно вуглеводнів, а також відтворюваність споживчих і технологічних властивостей сорбенту. За допомогою сорбційних властивостей модифікованих алюмосилікатів можна зменшити токсичні викиди автомобілів. Дослідження викидів CO, CO_2 та вуглеводнів проводили на газоаналізаторі «Інфракар» в двох режимах- холостому і активному (швидкість розгону - 90 км/год.). Вміст CO (%) зменшується при холостому режимі для неочищеного бензину марки А-92 від 4,89 до 0,17, вміст CO_2 – від 11,19 до 8,67, а вміст вуглеводнів (ppm) від 0,584 до 0,474. В активному режимі двигуна вміст CO змінюється в межах від 2,25 до 1,40, CO_2 від 2.25 до 1,40, а вуглеводнів в межах 0,333-0,289.

Висновки

Таким чином, економічна доцільність використання сапонітів в різних технологічних процесах зумовлена існуванням ефективних методів регулювання їхньої геометричної структури та хімічної природи поверхні, наявністю в Україні великих родовищ (промислові запаси сапоніту оцінюються приблизно в 40 млн. тон.) і невисокою вартістю глинистих мінералів. Завдяки пористій структурі та високорозвиненій поверхні такі мінеральні сорбенти можуть вилучати з водних розчинів різні речовини, а їхня екологічна безпечність робить можливим використання цих реагентів для потреб різних галузей промисловості. Тобто, отримані органомодифіковані алюмосилікати призначені для використання в якості фільтруючою і сорбційної загрузки, здатної замінити активоване вугілля, аніонно-катіонні смоли, зворотно-осмотичні мембрани, і можуть бути використані для одержання моторних палив високої якості і з пониженою токсичністю. Це дозволить скоротити втрати бензину, поліпшити пожежну безпеку та екологічну обстановку.

Подяки

Дослідження виконані за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України (проект 0115U000227) і за сприяння Інституту нафтохімії НАН України, Інституту хімії поверхні НАН України, Інституту сорбції та проблем ендо-екології НАН України, Хмельницького науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України, лабораторії з досліджень природних мінералів Хмельницького національного університету.

Література

1. Запорожець О. І. Транспортна екологія: навчальний посібник / О. І. Запорожець, С. В. Бойченко, О. Л. Матвєєва, С. Й. Шаманський, Т. І. Дмитруха, С. М. Маджд ; за заг. редакцією С. В. Бойченка. – К. : «Центр учбової літератури», 2017. – 508 с.

2. Франчук Г. М. Урбоекологія і технологія : підруч. / Г. М. Франчук, О. І Запорожець, Г. І. Архіпова. – К. : Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2011.– 496 с.

3. Аренс В. Ж. Проблема нефтяных разливов и роль сорбентов в ее решении / В. Ж. Аренс, О. М. Гридин.– Нефть, газ и бизнес. – 2000. – № 5. – С. 27–30.

4. Ruiz-Hitzky E. Clay Mineral– and Organoclay–Polymer Nanocomposite / E. Ruiz-Hitzky and A. Van Meerbeek // Developments in Clay Science, edited by F. Bergaya and L. Gerhard – Elsevier, 2006. – Vol. 1. – P. 583–621.

5. Lewicki J.P. The thermal degradation behaviour of polydimethylsiloxane/montmorillonite nanocomposites / J. P. Lewicki, J. J. Liggat, M. Patel // Surface and Coatings Technology. – 2009.– № 94(9). – P. 1548–1557.

6. Yeh J.M. Siloxane-modified epoxy resin–clay nanocomposite coatings with advanced anticorrosive properties prepared by a solution dispersion approach / J. M. Yeh, H. Y. Huang, C. L. Chen, W.F. Su, Y. H. Yu // Surface and Coatings Technology.– 2006. – № 200 (8). – P. 2753–2763.

7. Xi Y. Infrared spectroscopy of organoclays synthesized with the surfactant octadecyltrimethylammonium bromide / Y. Xi, Q. Zhou, R. L. Frost, H. He // Journal of Colloid and Interface Science. – 2007. – № 311 (2). – P. 347–353.

8. He H. Changes in the morphology of organoclays with HDTMA and surfactant loading / H. He, R. L. Frost, T. Bostrom, P. Yuan, L. Duong, D. Yang, Y. Xi, J. T. Kloprogge // Applied Clay Science. – 2006. – № 31 (3). – P. 262–271.

9. Сокол Г. М. Структурна модифікація сапонітових глин кислотною обробкою / Г. М. Сокол // Міжвузівський збірник наукових праць "Наукові нотатки" Луцький національний технічний університет. – Луцьк, 2017. – № 56 – С. 149–153.

10. Градус Л. Я. Руководство по дисперсионному анализу методом микроскопии / Градус Л. Я. – М. : Химия, 1979. – 232 с.

11. Каменщиков Ф. А. Нефтяные сорбенты / Ф. А. Каменщиков, Е. И. Богомольный // Регулярная и хаотическая динамика. – Москва–Ижевск : НИЦ, 2005. – 268 с

12. Чукаєва І.О. Формування українського ринку нафти і нафтопродуктів / І.О. Чукаєва. Економіка України. – 2001. – № 2. – С. 84–86.

13. Постанова кабінету міністрів України. Про затвердження Програми поетапного припинення використання етильованого бензину в Україні : постанова № 1825 : [прийнято Верховною Радою 1 жовтня 1999 року]. – К. : Леонорм, 2002. – 24 с.

References

1. Zaporozhecz‘ O. I. Transportna ekologiya: navchal‘ny‘j posibny‘k / O. I. Zaporozhecz‘, S. V. Bojchenko, O. L. Matvyeyeva, S. J. Shamans‘ky‘j, T. I. Dmy‘truxa, S. M. Madzhd; za zag. redakciyeyu S. V. Bojchenka. – K. : «Centr uchbovoyi literatury‘», 2017. – 508 s.

2. Franchuk G. M.,Urboekologiya i texnologiya: pidruch. / G. M. Franchuk, O. I Zaporozhecz‘, G. I. Arxipova. K.: V-vo Nacz. aviacz. un-tu «NAU-druk», 2011.- 496 s.

3. Arens V. Zh., Problema neftyanyx razly‘vov y‘ rol‘ sorbentov v ee resheny‘y‘ / V. Zh. Arens, O. M. Gry‘dy‘n. Neft‘, gaz y‘ by‘znes. – 2000. –№ 5. – S. 27–30.

4. Ruiz-Hitzky E. Clay Mineral– and Organoclay–Polymer Nanocomposite / E. Ruiz-Hitzky and A. Van Meerbeek // Developments in Clay Science, edited by F. Bergaya and L. Gerhard Elsevier, 2006. Vol. 1. R. 583-621.

5. Lewicki, J.P. The thermal degradation behaviour of polydimethylsiloxane/montmorillonite nanocomposites / J. P. Lewicki, J. J. Liggat, M. Patel // Surface and Coatings Technology. – 2009. №94(9). P. 1548-1557.

6. Yeh, J.M. Siloxane-modified epoxy resin–clay nanocomposite coatings with advanced anticorrosive properties prepared by a solution dispersion approach / J. M. Yeh, H. Y. Huang, C. L. Chen, W.F. Su, Y. H. Yu // Surface and Coatings Technology. 2006. №200 (8). R. 2753-2763.

7. Xi Y. Infrared spectroscopy of organoclays synthesized with the surfactant octadecyltrimethylammonium bromide / Y. Xi, Q. Zhou, R. L. Frost, H. He // Journal of Colloid and Interface Science. 2007. № 311 (2). R. 347-353.

8. He, H., et al., Changes in the morphology of organoclays with HDTMA and surfactant loading / H. He, R. L. Frost, T. Bostrom, P. Yuan, L. Duong, D. Yang, Y. Xi, J. T. Kloprogge // Applied Clay Science. 2006. №31 (3). R.262-271.

9. Sokol G. M. Strukturna mody‘fikaciya saponitovy‘x gly‘n ky‘slotnoyu obrobkoyu / Mizhvuzivs‘ky‘j zbirny‘k naukovy‘x pracz‘ "Naukovi notatky‘" Lucz‘ky‘j nacional‘ny‘j texnichny‘j universy‘tet. – Lucz‘k, 2017. –№ 56 – S. 149–153.

10. Gradus L. Ya. Rukovodstvo po dy‘spersy‘onnomu analy‘zu metodom my‘kroskopy‘y‘. — M.: Xy‘my‘ya, 1979 g. — 232 s.

11. Kamenshhy‘kov F. A. Neftyanыe sorbenty / F. A. Kamenshhy‘kov, E. Y‘. Bogomol‘nyj «Regulyarnaya y‘ xaoty‘cheskaya dy‘namy‘ka» Moskva-Y‘zhevsk: NY‘Cz, 2005. 268 c

12. Chukayeva I.O. Formuvannya ukrayins‘kogo ry‘nku nafty‘ i naftoproduktiv / I.O. Chukayeva. Ekonomika Ukrayiny‘. – 2001. - № 2. – 84-86 s.

13. Postanova kabinetu ministriv Ukrayiny‘. Pro zatverdzhennya Programy‘ poetapnogo pry‘py‘nennya vy‘kory‘stannya ety‘l‘ovanogo benzy‘nu v Ukrayini: postanova № 1825 [pry‘jnyato Verxovnoyu Radoyu 1 zhovtnya 1999 roku]. – K.: Leonorm, 2002. – 24 s.

Отримана/Received : 4.2.2018 р. Надрукована/Printed :24.3.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 681.51:664.65(045)

В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, Ю.М. КОРЕНЕЦЬ, А.В. ШЕЇНА
Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ ТІСТА В ПОЛІ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ

В роботі розглянуто математичні моделі взаємодії ультразвукових коливань з гетерогенним середовищем, насиченим повітряними бульбашками та частинками борошна, м'ясних продуктів, розсолів та інших інгредієнтів. Одержано залежності інтенсивності ультразвукового випромінювання від розміру бульбашок та частинок твердої фази. Використано теорію взаємного проникнення речовин та побудовано модель гетерогенного середовища у вигляді елементарного паралелепіпеда, через який за рахунок молекулярної дифузії і ультразвукових коливань переміщується речовина. Одержано модифіковані рівняння взаємодії ультразвукових коливань високої частоти з тістом і частинками м'ясних продуктів. Спроектовано експериментальну установку приготування тіста, в якій диспергаційно-кавітаційний апарат з системою інтелектуального управління виконує функції очищення води, підготовки інгредієнтів та м'ясних додатків. Тістомісильний апарат з системою датчиків контролю і візуалізації та ультразвуковими інтенсифікаторами виконує операції безопарного замісу тіста й диспергування частинок м'ясних продуктів та інших оздоровчо-лікувальних компонентів.

Ключові слова: ідентифікація, ультразвукова кавітація, диспергування, тісто, управління, інгредієнти.

V.P. KHOROLSKYI, YU.M. KORENETS, A.V. SHEYINA
Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih

IDENTIFICATION OF THE DOUGH PREPARATION PROCESS IN THE FIELD OF ULTRASONIC RADIATION

Analysis of processes of production of innovative kinds of bread showed that the existing automation systems should be supplemented with a digital control, robotic technology AIDS the process. The purpose of this article is to identify a complex dynamic environment which is exposed to ultrasonic vibrations for the development of systems of control and management robotic technology complex for the production of innovative varieties of bread. In the article the mathematical model of interaction of ultrasonic oscillations of the heterogeneous medium saturated by air bubbles and particles of flour, meat products, pickles and other ingredients. The dependences of intensity of ultrasonic radiation from the size of the bubbles and solid particles. Used the theory of mutual penetration of substances and constructed a model of heterogeneous environment in the form of the elementary parallelepiped, through which molecular diffusion and ultrasonic vibrations to move the substance. The obtained modified equations of interaction of ultrasonic fluctuations of high frequency test and the particles of meat products. Designed experimental setup preparation of the test, which dispergating cavitation machine with smart control system performs the purification of water, preparation of meat ingredients and applications. Dough kneading machine with a system of sensors and imaging and ultrasonic modulators performs dough kneading of the dough and dispersing particles of meat products and other health and medical components. Ultrasonic vibrations, forming a cavitation-dispergating effect, ensuring uniform distribution of moisture between the particles of flour, more rapid hydration of the particles of the dispersed phase is formed to relax the gluten. It causes the adhesion and cohesion effects flour with particles of meat products. Mixing dispersed particles of meat, particles of flour under the action of ultrasonic vibrations leads to the formation of homogeneous, heterogeneous environment. In the process of cavitation dispersion of the particles of flour and meat particles in a strong field of ultrasonic waves with a frequency of 22 kHz moisture with dissolved protein and sugar, and other ingredients will form a thin surface film, which improves not only the appearance of products, but also positively influences time saving innovative products.

Key words: identification, ultrasonic cavitation, dispersion, dough, control the ingredients.

Постановка задачі

Сучасне хлібопекарське виробництво відноситься до складних технологічних процесів, вихідні параметри яких залежать від якісних характеристик борошна, дріжджів, та інших інгредієнтів. Харчова цінність хлібобулочних виробів для населення, що проживає на території з техногенним навантаженням полягає, в першу чергу, в їх безпечності. Суттєвою є їх участь у створенні системи дієтично-профілактичного харчування.

Збагачення продуктів харчування макро- і мікроелементами вимагає від науковців розробки нового технологічного обладнання. Воно повинно відповідати концепції безлюдної технології, сучасним цифровим системам контролю якості продукції та автоматизованого управління на базі робото-технологічних комплексів з інтенсифікаторами, вбудованими в технологічний процес приготування тіста [1].

Аналіз процесів виробництва інноваційних сортів хліба показав, що існуючі системи автоматизації доцільно доповнити системами цифрового контролю, робото-технологічними інтенсифікаторами процесу (у випадку низьких хлібопекарських властивостей борошна, води, розсолів).

Ці фактори сформулювали необхідність проведення додаткових досліджень щодо ідентифікації технологічних процесів приготування тіста з лікувально-профілактичними інгредієнтами та м'ясними додатками в технологічному кавітаційному полі ультразвукових коливань низької і високої частоти.

Аналіз досліджень та публікацій

Питанням вивчення впливу ультразвукових коливань на технологічне середовище присвятили науковій праці українські вчені: Г.В. Дейниченко, Г.М. Постнов, М.А. Чеканов, В.М. Червоний, Д.А. Нечипуренко [2, 3], російські вчені С.В. Капустін, О.М. Красуля [4], С.Д. Шестаков [5], В.М. Хмельов, О.М. Слівін, Р.В. Барсуков [6].

Автори наведених публікацій довели наступне: в полі ультразвукових хвиль розподіл часточок за розмірами залежить від використання акустичних параметрів ультразвукової обробки (частоти, питомої

енергії, тривалості обробки). Це питання постає дуже важливим для ідентифікації параметрів гетерогенного середовища і створення математичних моделей. Його рішення дозволить обґрунтувати раціональні параметри ультразвукової кавітаційної обробки води, дріжджів, інших інгредієнтів, наприклад, часточок продуктів тваринного походження, з точки зору використання ультразвукових коливань (УЗК) для виробництва продуктів харчування. Таким чином, удосконалення ультразвукового диспергування у вигляді робототехнологічних інтенсифікаторів є актуальним науково-технічним завданням, але вимагає від науковців додаткових досліджень, а саме:

- моделювання процесу взаємодії гетерогенного середовища під дією ультразвукових коливань низької і високої частоти з частинками борошна, розсолів і м'ясних додатків;
- дослідження взаємодії ультразвукових коливань з тістом, в яке диспергуються частинки м'ясних продуктів або інші інгредієнти з лікувально-профілактичними параметрами;
- вдосконалення конструкції тістомісильних машин, як робототехнологічної системи з ультразвуковими кавітаційними інтенсифікаторами.

Формулювання цілей

Метою статті є ідентифікація складного динамічного середовища, на яке впливають ультразвукові коливання, для розробки систем контролю та управління робототехнологічними комплексами виробництва інноваційних сортів хліба.

Виклад основного матеріалу дослідження

Технологічне середовище опари та тіста представляє собою гетерогенну систему, яка включає частинки борошна, дріжджів та підсилювачів, воду, жири у рідкому стані та бульбашки, заповнені газовою сумішшю. Кожна із перелічених складових характеризується складним функціональним складом.

При розповсюдженні в гетерогенному середовищі ультразвукові коливання зустрічаються з частинками борошна, солі, олії, дріжджів та інших інгредієнтів (частинок покращувачів та збагачувачів рослинного або тваринного походження). Розповсюдження ультразвукових коливань в тісті, яке містить газові бульбашки, має суттєві особливості. Наприклад, бульбашки, розміри яких близькі до резонансних для обраної частоти ультразвукових коливань викликають значні кавітаційні впливи на технологічне середовище [4, 5].

Припустимо, що одиничне дискове джерело одержує направлений пучок ультразвукових хвиль.

Таке джерело може бути описано функцією густини випромінювання:

$$S(r,\delta)=\Omega(z-z_0)\frac{\Omega(\cos v-1)S_t(\alpha-\rho)}{2\pi a^2} \quad (1)$$

де $\cos v = \delta\times K$ (K – одиничний вектор, направлений впродовж осі z);

α – радіус дискового джерела;

$$\rho=\sqrt{x^2-y^2}\ ;$$

z_0 – координата щільності випромінювання дискового джерела.

$S(t)$ – ступенева функція, яка має такі властивості:

$$S'_t(x)=\begin{cases}1 & якщо \quad x\succ 0\\ 0 & якщо \quad x\le 0\end{cases} \quad (2)$$

Інтенсивність нерозсіяного ультразвукового випромінювання визначається через функцію щільності випромінювання джерела:

$$J_\ell^0(r,\delta)=\int_0^\infty S(r-\xi(\delta,\delta)e^{-\tau(\xi,\lambda\ell)d\xi}d\xi \quad (3)$$

Інтегральну інтенсивність ультразвукових коливань отримаємо, підставивши в формулу (3) функцію (1). Після інтегрування отримуємо залежність:

$$J_\lambda^0(r,\delta)=J_{0\ell}\times S_t(\alpha-\rho)e^{-\Sigma(z-z_0)}\ , \quad (4)$$

де $J_{0\ell}$ – значення інтенсивності пучка випромінювання в точках з координатою $z = z_0$. Якщо $z = 0$, то це означає, що джерело знаходиться на початку координат.

Якщо випромінювач УЗК розташований на вісі пучка, то його показники пропорційні величині:

$$J_\lambda^0(z)=J_{0\lambda\ell}e^{-\Sigma z}. \quad (5)$$

В цьому виразі:

$$\sum z=n_1\alpha_D(\ell\lambda,R)+n\Omega(\lambda\ell,r), \quad (6)$$

де n_1 – концентрація повітряних бульбашок;

n – концентрація частинок твердої фази;

R – радіус бульбашок;

$n\Omega(\lambda\ell,r)$ – повний перетин ослабленого сигналу на частинці з радіусом r.

У процесі впливу ультразвукових коливань в 22 кГц на технологічне середовище, газова фаза якого буде характеризуватися складною функціональною складовою, для коректної оцінки впливу бульбашок на послаблення пучка ультразвукових коливань необхідно врахувати як флокуляцію числа бульбашок в об'ємі, так і розподіл бульбашок за розміром. Останнє особливо суттєве, оскільки процес затухання ультразвукових

коливань на бульбашках носить резонансний характер. Тоді утворені кавітаційно-дезінтеграційні процеси взаємодії УЗК з тістом стають керованими і дозволяють контролювати інтенсивність кавітаційного впливу за величиною індексу кавітації [7, 8].

$$I_K = \frac{V}{\Delta V}\ , \tag{7}$$

де V – об'єм рідини (тіста);

ΔV – об'єм кавітаційних бульбашок, утворених пучком ультразвукових коливань.

Концентрацію бульбашок будемо визначати таким чином:

$$J_\lambda^0(z) = J\ell \exp\left\{-\frac{1}{V}\sum_{i=1}^{N_1}\left[\Omega_\rho(\ell\lambda, R_i)z\right]\right\}. \tag{8}$$

Вираз (6) показує, як послаблюється сигнал ультразвукових коливань повітряними бульбашками в процесі взаємодії його з гетерогенним середовищем.

Показник $J_\lambda^0(z)$ – сигнал приймача випромінювання, який усереднений флуктуаціями числа і розмірами бульбашок, його можна визначити так:

$$\prec J_\lambda^0(z) \succ J_\ell \prec \exp\left\{-\frac{1}{V}\sum_{i=1}^{N_1}\left[\Omega_\rho(\ell\lambda, R_i)z\right]\right\} \succ\ , \tag{9}$$

де $<N_1> = n_1 V$ – число бульбашок.

Якщо позначити через ξ випадкову величину, то:

$$\xi = \exp\left\{-\frac{1}{V}\sum_{i=1}^{N_1}\left[\Omega_\rho(\ell\lambda, R_i)z\right]\right\}. \tag{10}$$

Після знаходження середнього значення величини ξ і, враховуючи флуктуації числа бульбашок і розмірів частинок твердої фази, отримаємо усереднене значення інтегральної інтенсивності:

$$\prec J_\lambda^0(z) \succ J_{0\ell}\lambda \exp\{-V[n(1-\eta) + n(1-\eta n)]\}\ , \tag{11}$$

де

$$\eta = \int_0^\infty \exp\left\{-\frac{1}{V}\Omega(\ell\lambda, r)z\right\}\varphi(r)dr\ , \tag{12}$$

де $\varphi(r)$ – функція розподілення числа частинок твердої фази борошна та частинок м'яса.

$$\eta_1 = \int_0^\infty \exp\left\{-\frac{z}{V}\Omega_p(л\lambda, R)f(R)dR\right\}, \tag{13}$$

де $f(R)$ – функція розподілу бульбашок за розмірами в кавітаційній камері.

Таким чином, бульбашки η_1 відіграють суттєву роль в процесах контролю параметрів густини тіста. В системі контролю параметрів тіста та інтелектуального управління робототехнологічними інтенсифікаторами в якості індикаторів кавітаційних процесів використані залежності (6–13) диспергації в тісто частинок м'ясних додатків [7, 8].

На рисунку 1 наведено схему експериментальної установки з дослідження впливу ультразвукових коливань низької частоти від 20 до 40 кГц і високочастотних УЗК з частотами від 100 кГц до 1800 кГц.

Установка складається з двох частин: диспергаційно-кавітаційного та тістомісильного апаратів.

В рамках експериментальних досліджень були використані випромінювачі В1, В2 з ІУЗК1, ІУЗК2 з частотою ультразвукових коливань JB=20-22 кГц. Вибір такого частотного діапазону пояснюється наступним: по-перше властивістю ультразвукових коливань рівномірно проникати у незначні пори й капіляри тіста на всю товщину; по-друге можливістю дослідити процес диспергування за рахунок кавітаційних потоків рідини й частинок м'ясних продуктів та їх здатність рівномірно розподілятись по поверхні тіста; по-третє виконувати за допомогою ультразвукових коливань кероване зціплення частинок борошна та м'ясних продуктів.

Використання теорії взаємного проникнення речовин, яка базується на законі Фіка, надає можливість встановити зв'язок між градієнтом концентрації і потоком дифузії [9].

Молекулярна дифузія в речовині виникає в результаті хаотичного руху молекул. В цьому випадку має місце перенесення молекул розподільчої речовини з областей з високою концентрацією в області низької концентрації. Кінетика перенесення підпорядковується в цьому випадку першому закону Фіка.

Кількість продифундованої речовини пропорційна градієнту концентрації, площині, перпендикулярній напрямку дифузійного потоку, і часу:

Цей процес опишемо залежністю виду:

$$dM = -D\frac{\partial C}{\partial x}dFd\tau \tag{14}$$

де dM – кількість продифундованої речовини;

D – коефіцієнт пропорційності, або коефіцієнт дифузії;

$\frac{\partial C}{\partial x}$ – градієнт концентрації у напрямку дифузії;

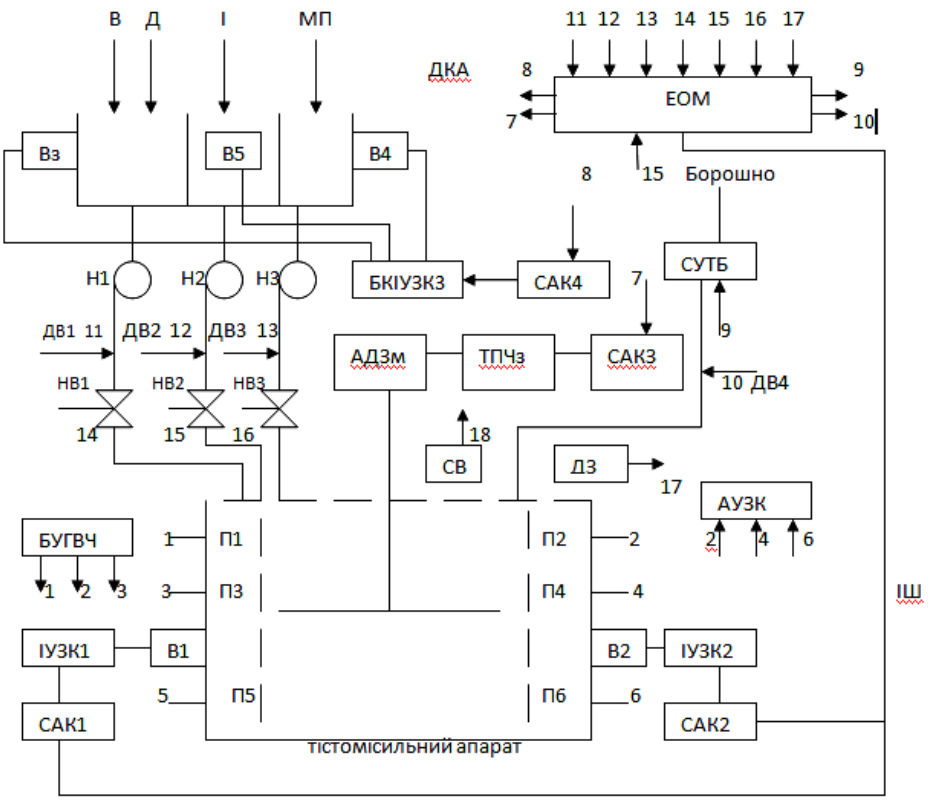


Рис. 1. Схема експериментальної установки приготування тіста з ультразвуковими інтенсифікаторами В1, В2, В3, В4, В5 – випромінювачі; В – вода; Д – дріжджі; І – інгредієнти; МП – м'ясопродукти; Н1, Н2, Н3 – насоси, ДВ1, ДВ2, ДВ3 – датчики витрат; ВК1, ВК2, ВК3 – клапани вентилів; АДЗМ – асинхронний двигун змішувача; ТПЧ – тристоронній перетворювач частоти двигуна змішувача; ДКА – диспергаційно-кавітаційний апарат, САК1, САК2, САК3 – системи адаптивного керування; СУТБ – система управління транспортування борошна; ІУЗК1, ІУЗК2 – інтенсифікатори ультразвукових коливань; БКІУЗК3 – багатоканальний інтенсифікатор ультразвукових коливань; БУГВЧ – блок ультразвукових генераторів високої частоти з датчиками–перетворювачами П1,П3,П5; ДЗ – датчик запаху; СВ – система візуалізації; АУЗК – аналізатор ультразвукових коливань з датчиками – приймачами П2,П4,П6; ЕОМ – електронна обчислювальна машина; ІШ – інформаційна шина

dF– елементарна площина, через яку проходить дифузія;

$d\tau$ – тривалість дифузії.

Коефіцієнт дифузії D показує, яка кількість речовини дифундує через площину поверхні 1м^2 за 1с при різниці концентрації на відстані 1 м, рівній одиниці.

Знак мінус у правій частині рівняння (14) свідчить про те, що при молекулярній дифузії у напрямку переміщення речовини концентрація зменшується.

Очевидно, що спосіб визначення концентрації та її розмірності визначає коефіцієнт дифузії.

Для рідини цей коефіцієнт буде визначатись за формулою:

$$D = \frac{8{,}2 \cdot 10^{-12} T}{\mu \cdot V_A^{\frac{1}{3}}} \left[1 + \left(\frac{3V_B}{V_A} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \tag{15}$$

де T – абсолютна температура, К;

ρ – тиск, Па;

$V_A^{1/3} \times V_B^{1/3}$ – мольні об'єми взаємодіючих рідин, см^3/моль;

μ – динамічна в'язкість рідини, в якій виникає дифузія, Па·с.

Дані, одержані в процесі експериментальних досліджень, показують, що коефіцієнт дифузії залежить від:

- агрегатного стану системи (вода – дріжджі – борошно – інгредієнти);
- коефіцієнтів дифузії рідин і газів.

Коефіцієнт дифузії збільшуватиметься зі зростанням температури і зменшуватиметься з підвищенням тиску.

Слід відзначити, що формула (15) справедлива лише для розбавленої рідини. Для концентрованих розчинів необхідно виконати відповідний перерахунок по формулі:

$$D_K = D \frac{d \ln a}{d \ln C} = D \left(1 + \frac{d \ln y}{d \ln C} \right), \tag{16}$$

де D_K – коефіцієнт дифузії в рідині з концентрацією C;

a – активність речовини, що дифундує;

C – концентрація речовини, що дифундує;

y – коефіцієнт активності.

Якщо наочно представити гетерогенне середовище у вигляді елементарного паралелепіпеда з ребрами dx, dy, dz, то можна вивести диференційне рівняння молекулярної дифузії.

Через цей елементарний паралелепіпед за рахунок молекулярної дифузії переміщується речовина із складним гетерогенним середовищем (компоненти твердих частинок борошна, дріжджів, інгредієнтів, цукру, солі тощо).

Нехай через ліву, задню і нижню грані за час $d\tau$ в нього входить кількість речовини відповідно Mx, My, Mz, а через протилежну грань – праву, передню і верхню – виходить кількість речовини відповідно $Mx+dx$, $My+dy$, $Mz+dz$.

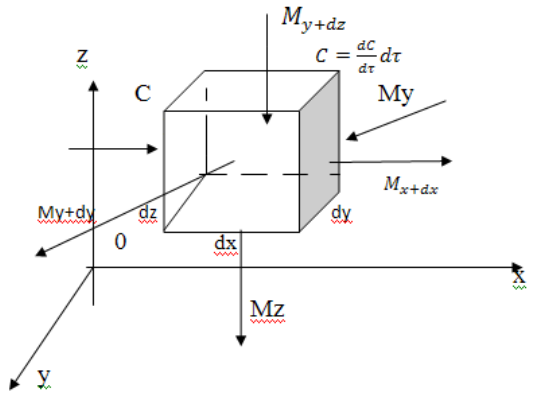


Рис. 2. До виводу диференційного рівняння молекулярної дифузії

Отже, елемент за час $d\tau$ одержує пріоритет, дифундуючи речовину в кількості:

$$M = (M_x - M_{x+dx}) + (M_y - M_{y+dy}) + (M_z - M_{z+dz}) \tag{17}$$

При цьому концентрація речовини, що дифундує, підвищується на $\frac{dC}{d\tau} d\tau$.

Згідно з основним законом молекулярної дифузії:

$$M_x = -D \frac{\partial C}{\partial x} dydzd\tau \tag{18}$$

Тоді:

$$M_{x+dx} = -D \frac{\partial \left(C + \frac{dC}{dx} dx \right)}{dx} dydzd\tau = -D \frac{dC}{dx} dydzd\tau - D \frac{\partial^2 C}{dx^2} dxdyd \tag{19}$$

Отже:

$$dM_x = M_x - M_{x+dx} = D \frac{\partial^2 C}{dx^2} dxdydzd\tau \tag{20}$$

Аналітично знайдемо:

$$dM_x = D \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} dxdydzd\tau \ , \tag{21}$$

$$dM_2 = D \frac{\partial^2 C}{dz^2} dxdydzd\tau \ . \tag{22}$$

Складаючи ліві й праві частини трьох послідовних рівнянь, одержуємо:

$$dM = dM_x + dM_y + dM_\tau = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) dxdydzd\tau \tag{23}$$

З іншого боку, частину кількості речовини, що дифундує, в елементі можливо знайти множенням об'єму елементу на зміну концентрації в часі $d\tau$, тобто:

$$dM = dxdydz \frac{\partial C}{\partial \tau} \ . \tag{24}$$

Співставляючи співвідношення (23) й (24), одержимо диференційне рівняння молекулярної дифузії:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \left[\frac{\partial^{2C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{dz^2} \right] . \tag{25}$$

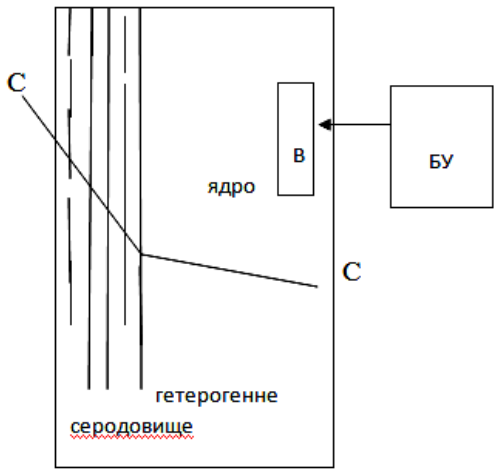


Рис. 3. Схема до пояснення формування закону Щукарева – положення речовини УЗК

У процесі впливу УЗК на технологічне середовище (тісто) за рахунок конвективної дифузії речовина переноситься із ядра потоку речовини до межі розділу фаз безпосередньо конвективною і молекулярною дифузією. На рисунку 3 наведено взаємодію УЗК з шаром гетерогенної рідини. Шару (ДПШ) гетерогенної рідини в полі впливу ультразвукових коливань й дифузійного прикордонного шару (ДПШ) відповідає модель Щукарева [9].

У системі, яку ми вивчаємо, будемо вважати, що потік гетерогенної речовини складається із двох

частин, ядра та граничного дифузійного шару.

В ядрі перенесення речовини здійснюється як за рахунок струму рідини, так і за рахунок створеного ультразвуковими коливаннями тиску і турбулентних течій.

При цьому будемо вважати, що концентрація перерізів в умовах квазістаціонарного режиму зберігається постійною.

По мірі наближення до граничного дифузійного шару турбулентність і, отже турбулентне перенесення затухає, а з наближенням до кордону поверхні випромінювача починає домінувати: з одного боку перенесення частинок речовини ультразвуковим тиском; а з іншого за рахунок молекулярної дифузії.

У цьому випадку концентрація розподіленої речовини буде функцією не лише координат x, y, z і часу τ (як у випадку лише молекулярної дифузії), але і складових швидкості ультразвукових коливань ω_x, ω_y, ω_z.

Перенесення маси розподіленої речовини внаслідок молекулярної дифузії математично описано диференційним рівнянням молекулярної дифузії (25). Ліва частина цього рівняння представляє собою локальні зміни концентрації розподіленої речовини.

Під дією ультразвукових коливань елемент буде переміщатися з однієї точки простору в інші. У цьому випадку зміни концентрації розподіленої речовини в елементі можуть бути виражені за допомогою похідної. Остання, враховує зміни величини частинки тіста з м'ясопродуктам в часі, а також зміни, які пов'язані з переміщенням елемента із однієї точки в іншу.

$$\frac{dC}{d\tau}=\frac{\partial C}{\partial \tau}+\frac{\partial C}{\partial x}\omega_x+\frac{\partial C}{\partial y}\omega_y+\frac{\partial C}{\partial z}\omega_z\cdot \tag{26}$$

В рівнянні (26) $\frac{\partial C}{\partial \tau}$ представляє собою локальну зміну концентрації розподіленої речовини під дією ультразвукових коливань.

$\frac{\partial C}{\partial x}\omega_x+\frac{\partial C}{\partial y}\omega_y+\frac{\partial C}{\partial z}\omega_z$ – конвективна зміна концентрації речовини під дією кавітаційних впливів.

Якщо в рівнянні молекулярної дифузії (25) замінити локальну зміну концентрації $\frac{\partial C}{\partial \tau}$ повним його значенням, $\frac{\partial C}{\partial \tau}$, відповідно (26), то в результаті одержимо диференційне рівняння конвективної дифузії речовини під дією кавітаційних впливів, тобто одержимо диференційне рівняння масообміну в рухомому середовищі, викликане ультразвуковими коливаннями генерованих випромінювачів В і блоком управління БУ.

$$\frac{\partial C}{\partial \tau}+\frac{\partial C}{\partial x}\omega_x+\frac{\partial C}{\partial y}\omega_y+\frac{\partial C}{\partial z}\omega_z=D\left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}+\frac{\partial^{2C}}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 C}{\partial z^2}\right). \tag{27}$$

Із рівняння (27) витікає наступне: під дією ультразвукових коливань змінними є концентрація і швидкість потоку речовини. Ці явища необхідно дослідити з позиції виникнення біфуркаційних процесів в гетерогенному середовищі.

Будемо розглядати питання виникнення біфуркацій в системі опара-тісто під дією УЗК, коли народжується цикл в динамічній системі (26) і коли її характеристики залежать від керованих параметрів: потужності випромінювача РУЗК (P_i), густини тіста ρ; кількісних параметрів м'ясних продуктів K_p:

$$\begin{cases}\frac{dx}{dt}=\alpha\left(H\left(x_1P_i\right)-y\right)\\ \frac{dy}{dt}=\beta\left(x-\varphi\left(y,\rho\right)\right)\\ \frac{dz}{dt}=\gamma-\varphi\left(z,K_p\right)\end{cases}, \tag{28}$$

де α, β, γ = const > 0,α ;

Pi, ρ, K_p – параметри біфуркації.

Будемо вважати, що на частоті 22 кГц УЗК експериментально одержано залежності:

$$\begin{cases}H\left(\xi,R\right)=y_0\\ \varphi\left(y_0,R\right)=\xi\\ \gamma\left(x_0,P\right)=\omega\end{cases}\cdot \tag{29}$$

При будь-яких P, e, ξ, ω із деякого інтервалу $I_{P_0}\cdot\left(\xi\cdot y_0\right)$ – ізольована крапка системи, функції $H(x, P_i)$; $\varphi(y, P_i)$, $\gamma(z, \xi)$ – аналітичні на множинах $I_\xi\times I_{P_0}$, $I_{y_0}\times I_{P_0}$ відповідно.

Управлінським впливом є потужність інтенсифікатора P_i. За функціонал якості приймаємо однорідність частинок м'яса в технологічному середовищі (тісто).

Множину допустимих управлінь $U_{доп}$ визначимо таким чином:

$$U_{доп}=\left\{P_i\in KC\left[t_0,t_1\right]\div P_{i\min}\le P_i\left(t\right)\prec P_{i\max}\forall t\in\left[t_0,t_1\right]\right\}, \tag{29}$$

де $KC\left[t_0,t_1\right]$ – множина усіх шматково-безперервних функцій на відрізку $\left[t_0,t_1\right]$.

Згідно з принципами оптимального управління [10]:

$$U_{доп} = \lfloor P_i, \rho, T, K_p, \xi \rfloor = \{P_i(t) + \rho \operatorname{sgn}[\sin(T - 1 + \xi) \subset U_{оп}]\} \quad (30)$$

де P_i – потужність випромінювача ультразвукових коливань інтенсифікатора;

ρ – густина тіста з м'ясними додатками;

T – час;

ξ – концентрація бульбашок;

K_p – кількісні параметри м'ясних продуктів.

Тоді необхідно побудувати систему з великою кількістю зв'язків для управління робототехнологічним комплексом, в якій у якості локальних систем запропоновано: САК1, САК2 – системи адаптивного управління інтенсифікаторами; ІУЗК1, ІУЗК2, САК3 – системи адаптивного керування продуктивністю тістомісильної машини; САК4 – системи адаптивного керування багатоканальним інтенсифікатором УЗК з випромінювачами Б3, Б4, Б5.

В робототехнологічному комплексі в тістомісильний апарат очищену воду з диспергованими частинками дріжджів подають насосом Н1. В системі контролю продуктивності насоса Н1 передбачено визначення параметрів витрат ДВ1 і положення виконавчого механізму НВ1, сигнали 11 й 14 контролю й керування з яких надходять до ЕОМ. Подачу інгредієнтів (І) в тістомісильний апарат виконує насос (Н2) з датчиком витрат ДВ2 і регульованим вентилем НВ2, сигнали з яких 12, 15 надходять до ЕОМ. Подачу диспергованих частинок м'яса виконує насос (Н2), контроль витрат виконує система контролю ДВ3 з виконавчим механізмом НВ3, сигнали з яких 13,16 надходять до ЕОМ. В системі управління транспортування борошна передбачено контроль витрат за допомогою системи ДВ4, сигнал 10 з якої надходить до ЕОМ.

В диспергаційно-кавітаційному апараті (ДКА) виконується: кероване очищення води; приготування оздоровчо-лікувальних інгредієнтів, м'ясних додатків тощо. За допомогою УАЗК, розроблених програмних продуктів й розроблених способів управління [11] ЕОМ керує процесом ультразвукової кавітації. При цьому робототехнологічні інтенсифікатори ІУЗК1 і ІУЗК2 з системами САК1, САК2 і датчиками контролю параметрів технологічного середовища П2, П4, П6, взаємодіючи з тістом утворюють фазу розрідження хвилі УЗК. В результаті цього керованого явища в ядрі технологічного середовища тістомісильного апарату виникають розриви по слабких місцях (кавітаційні зародки). У даному випадку – це частинки борошна, дріжджів, повітряні бульбашки, м'ясні частинки, які дисперговані в тісто тощо. За допомогою АУЗК і перетворювачів П5, П6 ЕОМ визначає порогове значення інтенсивності ультразвуку, а отже, ІУЗК 1, ІУЗК2 за рахунок кавітаційно-диспергаційного процесу виконують диспергування частинок м'яса в тісто. Зі зростанням інтенсивності УЗК від 100 дБ до 140 дБ на частоті 22 кГц швидкість процесу ультразвукового диспергування збільшується. При цьому, вона залежить від характеристик борошна і величини сил взаємодії між окремими частинками борошна і м'ясних частинок. Продуктивність тістомісильного апарату регулюють за допомогою системи САК3, ТПЧ3 і АД3. Данні з системи візуалізації СВ і датчиків запаху ДЗ (рис.1), яка передбачає використання інфрачервоних оптичних сенсорів, надходить в ЕОМ і, після обчислення за допомогою нейронних мереж [10], інформують оператора про готовність продукту.

В системі готовності тіста з додатками важливу роль відіграють датчики контролю П2 – густини тіста і П4 – однорідності.

Позначимо інтенсивність сигналу ультразвукового випромінювача через ξ_0. За умови, що сигнал УЗК проходить фіксовану відстань z_p в гетерогенному середовищі тісто-м'ясні додатки, то:

$$\xi_0 = \exp\left\{-\frac{1}{V}\sum_{i-1}^{K}\delta(r_i)Z_p\right\}, \quad (32)$$

де ξ_0 – інтенсивність сигналу випромінювання;

V – об'єм технологічного середовища, що контролюється;

δ_i – переріз затухання частинок радіуса r_i сформованого середовища борошна з м'ясним продуктом.

Дисперсію ультразвукового сигналу при проходженні ним шару товщиною δ_i визначимо із виразу:

$$D(\xi_0) = J_0^0 \exp\left\{2nZ_p\int_0^\infty \delta(r)P_\beta(r)dr\right\}\left[\exp\frac{2nz^2p}{V}\cdot\int_0^\infty \delta^r(r)P_\beta(r)dr - \exp\frac{nZ^2p}{V}\int_0^\infty \delta^2(r)P_\beta(r)dr\right] \quad (33)$$

Якщо позначити $\varphi = \exp\left\{\frac{nz^2}{V}\int_0^\infty \delta^2(r)P_\beta(r)dr\right\}$, то, після перетворення, можна визначити характеристичну функцію:

$$S' = \frac{\ln\varphi}{\ln\frac{J_0}{\prec\varepsilon\succ}} = \frac{Z^2\int_0^\infty \delta^2(r)P_\beta(r)dr}{\delta(r)P_\beta(r)dr}, \quad (34)$$

Аналіз виразу (33) показує, що величина S' є функцією густини технологічного середовища операції «тісто-м'ясні додатки».

Для цього потрібно вимірювати $J_{01} \prec \xi_0 \succ D(\xi_0)$ обчислюючи параметр $S^{/}$, та опосередковано визначати густину $\rho\tau$ технологічного середовища.

Розрахунок енергії, яку випромінює перетворювач, проводили за наступною формулою:

$$E_{ВИП} = \left(\frac{1}{2}\right)\rho(2\pi f)^2 A^2 V_{ОБ.р.к.} \quad (35)$$

де $E_{ВИП}$ – енергія випромінювача, Дж/м^3;

ρ – густина середовища, кг/м^3;

f – частота випромінювання, кГц;

A – амплітуда коливань торця випромінювача, м;

$V_{ОБ.р.к.}$ – об'єм робочої камери, м^3.

Ці рівняння (14-35) описують, головним чином, взаємне проникнення частинок в потоці рідини й газових бульбашок, які рухаються зі швидкістю V.

Ультразвукові коливання в процесі кавітаційної диспергації забезпечують: рівномірний розподіл вологи між частинками борошна і частинками м'ясних продуктів, а отже більш швидше зволоження частинок дисперсної фази. В період дифузійного процесу взаємодії частинок різних продуктів й кавітаційних бульбашок утворюється клейковина, яка визиває адгезійний та когезійний ефекти. Це спричиняє склеювання тіста з частинками бульбашок, приводить до щільності укладання частинок борошна і свіжих м'ясних частинок. Останні, диспергуючись в тісто, утворюють гетерогенне середовище – тісто з бульбашками повітря та м'ясними добавками.

У процесі імпульсного кавітаційного ефекту (впливу імпульсних ультразвукових коливань потужністю 259-300 Вт) на технологічне середовище рідина з розчиненими білками та цукром, проходячи через тісто з м'ясними частинками, утворює дуже тонку поверхневу плівку. Вона не лише покращує зовнішній вигляд хліба, але й позитивно впливає на термін збереження хліба з м'ясними інгредієнтами.

Необхідно відзначити, що робота робототехнологічного кавітаційного випромінювання ультразвукових коливань за рахунок імпульсного регулятора адаптивної системи керування процесами диспергування і перемішування дозволяє:

- ультразвуковим коливанням, проникаючи в технологічне середовище утворювати зони підвищеного і зниженого тиску, що позитивно впливає на інтенсифікацію процесу переносу рідини зі глибинних шарів до поверхні;
- ультразвукові коливання, проникаючи в дифузійний шар, турбулізують середовище «тісто-м'ясні додатки» і, тим самим, прискорюють процес приготування;
- ультразвукові коливання значно зменшують в'язкість тіста за рахунок кавітаційного ефекту, а також за рахунок радіаційного тиску.

Висновки

У процесі експериментальних досліджень одержані такі результати:

- обробка води ультразвуковими коливаннями на частоті 30 кГц потужністю 200 Вт (час взаємодії 3,1-3,2 хв) дозволяє досягти найбільш раціонального пливу на показники її якості: жорсткість води зменшується на 15–21% від попереднього значення, РН знижується в середньому на 0,28–0,35 од., вміст заліза зменшується в середньому на 25–28%;
- встановлено ефективність використання ультразвукової кавітації для знезаражування води, вплив ультразвукових коливань на частоті 22 кГц, потужністю 200 Вт (час взаємодії 3,5 хв) призводить до зменшення ОМІ в 5 разів;
- визначено раціональні режими оброблення ультразвуком тіста з м'ясними додатками на стадії його приготування: звуковий тиск 135–140 ДБ на частоті 22±1,50 кГц збільшує продуктивність тістомісильної машини на 12–15% і забезпечує отримання інноваційних продуктів харчування (хліба з 5…10% додатків м'ясних продуктів, макаронних виробів з м'ясними додатками 25–35%);
- розроблено спосіб диспергування м'ясних частинок в тісто за рахунок керованих кавітаційних процесів, створених ультразвуковими коливаннями низької частоти;
- розроблено спосіб контролю параметрів густини середовища «тісто-м'ясні додатки», тіста, кавітаційних бульбашок та інтелектуального управління процесами диспергування м'ясних додатків у тісто й продуктивністю тістомісильної машини шляхом адаптивного керування потужністю ультразвуку з великою кількістю зв'язків.

Ультразвукові коливання, утворюючи кавітаційно-диспергуючий ефект, забезпечують рівномірний розподіл вологи між частинками борошна, більш швидке зволоження частинок дисперсної фази – утворюється розслаблення клейковини, що викликає адгезійний та когезійний ефекти борошна з частинками м'ясних продуктів.

Перемішування диспергованих частинок м'яса з частинками борошна під дією ультразвукових коливань призводить до утворення однорідного гетерогенного середовища.

У процесі кавітаційного диспергування частинок борошна і м'ясних частинок в потужному полі ультразвукових хвиль з частотою 22 кГц волога з розчиненими білками, цукром, іншими інгредієнтами будуть утворювати на поверхні тонку плівку, яка покращує не лише зовнішній вид виробів, але й позитивно впливає на терміни збереження інноваційної продукції.

Література

Возняк А.В. Робототехнологічні комплекси в процесах виробництва хліба для регіонів з техногенним тиском / А.В. Возняк, Ю.М. Коренець, В.П. Хорольський // Збірник тез другої міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності». – Харків : ХДУХТ, 2017. – С. 32–33.

Отримання водно-жирових емульсій за допомогою ультразвуку : монографія / Г.В. Дейниченко [та ін.]. – Харків : ФАКТ, 2013. – 192 с.

Безвідхідна переробка м'яса з високим вмістом сполучної тканини з використанням ультразвуку : монографія / Г.В. Дейниченко [та ін.] – Харків : ФАКТ., 2012. – 192 с.

Федоткин И.М. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности: Теория, расчеты и конструкции кавитационных аппаратов / И.М. Федоткин, И.С. Гулий // под общ. ред. И.М. Федоткина. – Киев : Полиграфкнига. 1997. – 839 с.

Капустин С.В. Применение ультразвуковой кавитации в пищевой промышленности / С.В. Капустин, О.Н. Красуля // Интерактивная наука. – 2016. – № 2. – С. 101–103.

Шестаков С.Д. Основы технологии кавитационной дезитеграции / С.Д. Шестаков // Санкт-Петербург : Нева-Пресс. 2001. – 173 с.

Хмелев В.Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков / Алтайский государственный технический университет БТИ. – Бийся : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203 с.

Акопян Б.В. Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами / Акопян Б.В. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 224 с.

Процессы и аппараты пищевых производств : учебн. для вузов : в 2 кн. / А.Н. Остриков, Ю.В. Красовицкий, С.М. Петров и др. ; gод ред. А.Н. Острикова. – СПб : ГИОРД, 2006. – Кн. 2. – 509 с.

Методы классической и современной теории автоматического управления : учебник в 5 т. Т. 5: Методы современной теории автоматического управления / под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егунова. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с.

Khorolskyi V., Korenets Yu., Ostapenko I. Development of robototechnological complex of intellectual management by bread manufacturing for technology loading territories // Technology audit and production reserver. – 2018. – № 1/3 (39). – P. 53–58.

References

Voznjak A.V. Robototekhnologhichni kompleksy v procesakh vyrobnyctva khliba dlja reghioniv z tekhnoghennym tyskom / A.V. Voznjak, Ju.M. Korenecj, V.P. Khoroljsjkyj // Zbirnyk tez drughoji mizhnarodnoji naukovo-praktychnoji konferenciji «Innovacijni aspekty rozvytku obladnannja kharchovoji i ghoteljnoji industriji v umovakh suchasnosti». – Kharkiv : KhDUKhT, 2017. – S. 32-33.

Otrymannja vodno-zhyrovykh emuljsij za dopomoghoju uljtrazvuku: monoghrafija / Gh.V. Dejnychenko [ta in.]. – Kharkiv : FAKT, 2013. – 192 s.

Bezvidkhidna pererobka m'jasa z vysokym vmistom spoluchnoji tkanyny z vykorystannjam uljtrazvuku : monoghrafija / Gh.V. Dejnychenko [ta in.] – Kharkiv: FAKT., 2012. – 192 s.

Fedotkin I.M. Kavitatsiya, kavitatsionnaya tehnika i tehnologiya, ih ispolzovanie v promyishlennosti: Teoriya, raschetyi i konstruktsii kavitatsionnyih apparatov / I.M. Fedotkin, I.S. Guliy // pod obsch. red. I.M. Fedotkina. – Kiev: Poligrafkniga. 1997. – 839s.

Kapustin S.V. Primenenie ultrazvukovoy kavitatsii v pischevoy promyishlennosti / S.V. Kapustin, O.N. Krasulya // Interaktivnaya nauka. – 2016 - 2 – S. 101-103.

Shestakov S.D. Osnovyi tehnologii kavitatsionnoy dezitegratsii / S.D. Shestakov // Sankt-Peterburg: Neva-Press. 2001. – 173 s.

Hmelev V.N. Primenenie ultrazvuka vyisokoy intensivnosti v promyishlennosti / V.N. Hmelev, A.N. Slivin, R.V. Barsukov // Altayskiy gosudarstvennyiy tehnicheskiy universitet BTI – Biysk: Izd-vo Alt. gos. tehn. un-ta, 2010 – 203 s.

Akopyan B.V. Osnovyi vzaimodeystviya ultrazvuka s biologicheskimi ob'ektami. M.: MGTU im. N.E.Baumana, 2005. – 224 s.

Protsessyi i apparatyi pischevyih proizvodstv: uchebn. dlya vuzov: v 2 kn. / A.N. Ostrikov, Yu.V. Krasovitskiy, S.M. Petrov i dr. ; Pod red. A.N. Ostrikova. – SPb : GIORD, 2006. – Kn 2. – 509 s.

Metodyi klassicheskoy i sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya: Uchebnik v 5 t., 2-e izd. pererab. i dop. Metodyi sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya / Pod red. K.A. Pupkova, N.D. Egunova. – M.: Izdatelstvo MGTU im. N.E. Baumana, 2004. – 784 s.

Khorolskyi V., Korenets Yu., Ostapenko I. Development of robototechnological complex of intellectual management by bread manufacturing for technology loading territories / Technology audit and production reserver – № 1/3 (39), 2018. – p. 53-58.

Отримана/Received : 22.2.2018 р. Надрукована/Printed :26.3.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 556.314.(477.54)

О.О. ЄФРЕМОВА, Н.Г. МІРОНОВА
Хмельницький національний університет

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОД ПРИМІСЬКОЇ ЗОНИ М. ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ

Проаналізовано стан водозабезпечення населення приміської зони Хмельницького та окреслено основні його проблеми. Досліджено та проаналізовано основні органолептичні, хімічні та мікробіологічні показники підземних вод даної території. Проведено екологічну оцінку якості води та розроблено рекомендації щодо забезпечення населення приміської зони Хмельницького якісною питною водою.

Ключові слова: підземна вода, якість питної води, приміська зона Хмельницького.

O.O. JEFREMOVA, N.G. MIRONOVA
Khmelnytskyi National University

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF QUALITY OF GROUNDWATER OF SUBURBAN ZONE OF THE CITY OF KHMELNYTSKYI

With a decrease in stocks and depletion of aquifers suitable for drinking water supply, and given the absence of centralized water supply in peri-urban areas, the study of groundwater quality is extremely important. In places where there is no Central water supply, the villagers use underground water wells public and private wells, shallow boreholes. Thus, there is unsatisfactory quality of drinking water wells, due to late carrying out of repair and cleaning from silt, failure to comply with regulatory distances from the probable locations of contamination to the source water intake. These problems are typical for suburban areas of the city of Khmelnytsky. According to the analysis of organoleptic, chemical and microbiological parameters of groundwater of suburban zone of the city of Khmelnytsky exceeded the content of iron, ammonium, and hydrogen sulfide. Other indicators which were determined meet the standards. Therefore, the qualitative characteristics of groundwater of suburban zone of the city of Khmelnytsky not meet the requirements of national standards. Therefore can pose a threat to the health of consumers. Therefore, to improve the quality of water supply of the population of the suburban zone of the recommendation: the use of packaged drinking water (during floods and floods) the use of systems of water purification (iron removal, decontamination, lighting, mechanical filtration), construction of pump room on the basis of artesian wells, the division of drinking and industrial water, the implementation of engineering methods of protection from contamination of boreholes and wells, the development of regional control programs of sanitation and hygiene sources of water intake and water chemistry, development of centralized water supply from artesian wells with the mandatory drainage system to prevent groundwater contamination by household wastewater.

Keywords: underwater, quality of drinking-water, suburban zone of the city of Khmelnytskyi.

Постановка проблеми

З огляду на зменшення запасів та виснаження водоносних горизонтів, придатних для питного водопостачання, а також відсутність забезпечення населення приміських зон централізованим водопостачанням дослідження якості підземних вод, які використовує населення є вкрай актуальним. Адже забезпечення населення питною водою в достатній кількості та відповідної якості є одним із головних пріоритетів як влади, так і територіальних громад.

Аналіз останніх джерел

Питання щодо формування запасів підземних вод і обґрунтування їх застосування для питного водопостачання в Україні всебічно розроблялися вітчизняними вченими: А.Е. Бабинцем, Ф.А. Руденко, В.М. Шестопаловим, М.І. Дробноходом, Е.Е. Соболєвським, Г.В. Лисиченко, Г.І. Рудько, Є.О. Яковлєвим та ін. [1]. Підземні води широко використовуються у народному господарстві України і є важливим ресурсом для забезпечення економічного та соціального розвитку держави.

Потреби у воді багатьох міст України, які не можуть використовувати для водопостачання поверхневі водні об’єкти через їх відсутність, а також недостатню кількість або незадовільний стан, забезпечуються за рахунок підземних водних ресурсів [2]. Централізоване водопостачання міст та селищ Хмельницької області в основному здійснюється питною водою з підземних джерел. У місцях де воно відсутнє, мешканці теж використовують підземні води – криниці громадського користування та приватні колодязі, неглибокі бурові свердловини. При цьому спостерігається незадовільна якість питної води в криницях, що обумовлено несвоєчасним проведенням їх ремонту та очистки від намулу, недотриманням нормативних відстаней від ймовірних місць забруднення до джерела, інтенсивним застосуванням засобів захисту рослин та отрутохімікатів. Надзвичайно проблемною є ситуація, що склалася у селищах та приміських зонах. Тут населення використовує воду без проведення оцінки її якості, найчастіше без необхідних систем очистки, чим наражає себе на небезпеку. До того ж, однією з головних проблем для такої місцевості стає щільність невеликих за розміром ділянок, практично на кожній з яких розміщені джерела водозабору та септики, що, в свою чергу, унеможливлює дотриманням санітарно-гігієнічних нормативів. **Метою роботи є:** екологічна оцінка якості підземних вод приміської зони м. Хмельницького (на прикладі масиву «Електроніка»), які населення використовує для питних потреб.

Виклад основного матеріалу

Станом на 01.01.2017 р. в Україні розвідано 635 родовищ питних і технічних підземних вод, розміщених на 1357 ділянках, із загальними експлуатаційними запасами 16330,8 тис. м^3/добу [3]. Балансові експлуатаційні запаси питних і технічних підземних вод по Хмельницькій області становлять 466,3 тис. м^3/добу, при цьому їх використання складає лише 66,6 тис. м^3/добу, або 14,28 % (рис. 1) [3].

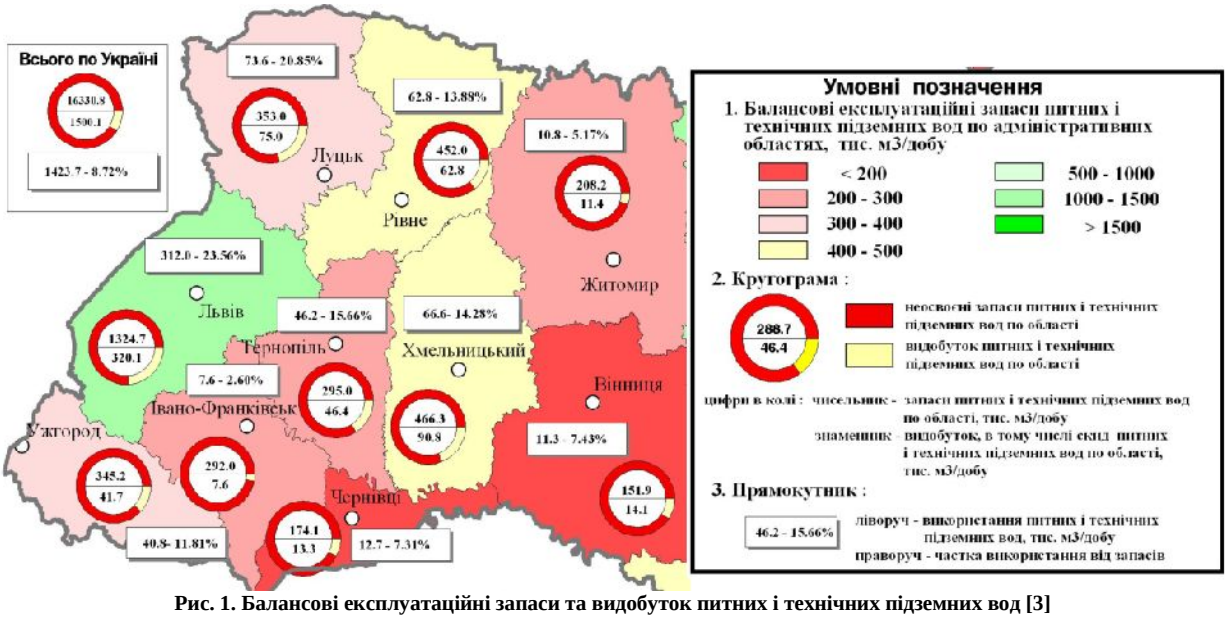


Рис. 1. Балансові експлуатаційні запаси та видобуток питних і технічних підземних вод [3]

Хмельницька область, в тому числі і досліджувана територія, належать до Волино-Подільського артезіанського басейну. У приміській зоні м. Хмельницького відсутнє централізоване водопостачання і населення використовує власні свердловини та колодязі для водозабору глибиною до 40 м.

Водоносні горизонти, на глибині яких відбувається водозабір на території масиву «Електроніка», за відомостями Подільської гідрогеологічної партії ДП «Українська геологічна компанія», – N1S та аН. Водоносний горизонт N1S залягає у відкладах сарматського регіоярусу міоцену, який складається із вапняків, пісків кварцевих і різнозернистих вуглистих алевритів. Водовмісні породи представлені вапняками черепашковими, пісками кварцовими, різнозернистими вуглистими, рідше алевритовими. Розповсюджені в даній товщі глини, окрім верхньої частини розрізу, не утворюють стійких водотривів у зв'язку з нерівномірністю і невитриманістю залягання глинистих прошарків як за площею, так і у вертикальному розрізі. У верхній частині розрізу глини є відносним водотримом, чим створюють умови існування ґрунтових вод в еолово-делювіальних та елювіально-делювіальних суглинках верхнього неоплейстоцену [4]. Вапняки, які залягають в нижній частині розрізу практично повністю обводнені, за виключенням зон дренування вздовж річкових долин, які прорізають відклади. Таким чином, водоносні горизонти пісків і вапняків у сарматських відкладах гідравлічно зв'язані і являють собою єдиний водоносний горизонт. Потужність водовмісних порід переважно складає 10–22 м. Сарматський водоносний горизонт у цілому безнапірний, а водоносна товща вапняків є напірною з величиною напору 1-23 м. Добові водовідбори із колодязів у сарматських пісках змінюються від 3 м^3/добу до 0,8 м^3/добу, а свердловини, обладнані на сарматських вапняках, значно вищі і сягають до 146 м^3/добу.

За хімічним складом води сарматського горизонту переважно сульфатно-гідрокарбонатні магнієво-кальцієві та хлоридно-гідрокарбонатні кальцієві з мінералізацією 0,5-1,1 г/дм^3. Живлення водоносного горизонту здійснюється, в основному, за рахунок інфільтрації атмосферних опадів в місцях неглибокого залягання пісків і вапняків, а також за рахунок вод з нижніх водоносних горизонтів.

Досить високе гіпсометричне положення водоносного горизонту сприяє значній його дренованості долинами річок і великих балок, яка проявляється у вигляді джерел і мочарів. Рівневий режим схильний до сезонних коливань.

Водоносний горизонт аН представлений у заплавах річок, пониженнях у вигляді балок, які мають вигляд вузьких смуг, що витягнуті вздовж русел на глибині водозаборів. Цей горизонт в алювіальних відкладах голоценезу заплав річок і днищ балок складають торфи, мули, піски різнозернисті, супіски, суглинки. Ширина таких заплав може бути від 100–200 м до 1500 м. Водовмісні породи залягають на відкладах сарматського регіоярусу, водоносний горизонт ґрунтового типу, глибина до статичних – 0-6,1 м. Водозбагаченість горизонту досить низька, при цьому добові водовідбори становлять 0,2-0,5 м^3. Живлення теж здійснюється здебільшого за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і перетікання вод з інших водоносних горизонтів, а навесні – за рахунок паводкових вод. Розвантаження водоносного горизонту здійснюється в річкову мережу. Режим непостійний із сезонними коливаннями. За хімічним складом води горизонту сульфатно-гідрокарбонатні магнієво-кальцієві, хлоридно-гідрокарбонатні магнієво-кальцієві з мінералізацією 0,8-1,1 г/дм^3 [4].

Через незначну водозабезпеченість і несприятливі санітарно-гігієнічні умови горизонт є непридатним для централізованого водопостачання, тому неглибокі свердловини і колодязі не матимуть постійного рівня води, а їх водозабезпеченість залежатиме від рівня атмосферних опадів.

На території дослідження найчастіше використовують трубчасті бурові колодязі (свердловини на вапняк) глибиною 30-40 м. У зв'язку з цим, зразки води відбирали на глибині 32 м, на якій найчастіше

встановлюють двигуни для подачі води у будинки. Точки відбору проб наведені на рис. 2.

Рис. 2. Карта м. Хмельницького з місцями відбору проб (фрагмент інтерактивної карти [5])

Якість підземних вод визначали за органолептичними, хімічними та мікробіологічними показниками (табл. 1–3).

Таблиця 1

Органолептичні показники якості води

N з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Отримані результати	Нормативи для питної води з підземних вододжерел	Методики визначення [6]
1	2	3	4	5	6
1	Запах при t=20° С	бали	4 (виразний запах сірководню)	менше 2–3	пп. 2, 31 (додаток 5)
2	Каламутність	нефелометр. одиниця каламутності (1 НОК = 0,58 мг/дм^3)	не визначалася	менше 2,6 – для підземного вододжерела	пп. 2, 38 (додаток 5)
3	Смак та присмак	Бали	3	менше 2–3	п. 2 (додаток 5)

Таблиця 2

Хімічні показники якості води

№ з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Отримані результати	Нормативи для питної води з підземних вододжерел	Методики визначення [6]
1	2	3	4	5	6
1	Загальна жорсткість	ммоль/дм^3	7,05 ± 0,35	менше 7	п. 4 (додаток 5)
2	Залізо загальне	мг/дм^3	0,978 ± 0,241	менше 0,2	пп. 3, 33, 64 (додаток 5)
3	Водневий показник	одиниці pH	6,7 ± 0,1	6,5 - 8,5	п. 28 (додаток 5)

Продовження табл.. 2

1	2	3	4	5	6
4	Хлориди	мг/дм^3	11,0 ± 2,2	менше 250	пп. 7, 44 (додаток 5)
5	Амоній	мг/дм^3	0,607 ± 0,062	менше 0,5	пп. 6, 37 (додаток 5)
6	Нітрати (по NO_3)	мг/дм^3	5,59 ± 1,41	менше 50	пп. 6, 20 (додаток 5)
7	Нітрити	мг/дм^3	0,002 ± 0,001	менше 0,5	пп. 6, 36 (додаток 5)

Таблиця 3

Показники епідемічної безпеки води

N з/п	Найменування показників	Отримані результати	Одиниці виміру	Нормативи для питної води		Методики визначення [6]
				водопровідної, з пунктів розливу та бюветів	з колодязів та каптажних джерел	
1	2	3	4	5	6	7
Мікробіологічні показники						
1	Загальне мікробне число при t=37 °С, 24 год	4	КУО/см^3	J 100 (J 50)	не визначається	пп. 48, 57 (додаток 5)
2	Загальні коліформи	не виявлено	КУО/100 см^3	відсутність	J 1	пп. 48, 56 (додаток 5)
3	*E.coli*	не виявлено	КУО/100 см^3	відсутність	відсутність	п. 48 (додаток 5)
4	Ентерококи	не виявлено	КУО/100 см^3	відсутність	не визначається	п. 58 (додаток 5)

При органолептичному дослідженні вода мала яскраво виражений запах сірководню, який привертає до себе увагу і може спонукати не пити воду, згідно норм перевищення становить 2 ГДК. При заборі вода мала добру прозорість. Якщо зразок не закрити кришкою, вода ставала світло-бежевого кольору, пізніше бурі і світлі домішки випадали в осад у невеликій кількості. Зразок води мав металевий кислуватий присмак середньої інтенсивності з легким солодкуватим присмаком.

За результатами аналізу хімічних показників якості підземних вод приміської зони м. Хмельницького виявлено перевищення вмісту заліза – 4,98 ГДК та амонію – 1,21 ГДК.

Мікробіологічні показники відповідають нормам.

Враховуючи гідрогеологічні та місцеві умови, підвищений вміст заліза, амонію та сірководню обумовлюється як природними так і техногенними чинниками. Перевищення сірководню у воді ми пов’язуємо із розміщенням водозаборів у пониженнях на межі горизонтів N1S та aH. Можемо припустити, що дана територія входила в широку заплаву р. Самець, тому в місцевих торфах довгий час відбувалися застійно-гнилисні явища, що і обумовило підвищений вміст сірководню.

Підвищенню вмісту амонію сприяють забруднення, що потрапляють у водоносні горизонти із викопних септиків, які, як правило, не бетоновані. Крім того, на даних територіях не витримані розміри санітарно-захисних зон біля джерел водозабору через малі площі ділянок, на яких проживає населення, і щільну забудову приватними будинками.

Достатньо високий вміст заліза у воді, на нашу думку, пов’язаний із природними особливостями складу водоносного горизонту, який включає озалізнені глини. Також має місце техногенний чинник – накопичення заліза в осаді водопровідних систем.

Враховуючи невідповідність отриманих результатів аналізу якості підземних вод за певними показниками нормативним вимогам щодо якості питної води, досліджувані підземні води в цілому не є безпечними для здоров’я населення, що обумовлює необхідність проведення комплексу заходів різного рівня. Індивідуальним споживачам за даних умов рекомендуємо використовувати засоби знезалізнення води, дегазації від сірководню та освітлення, що можна забезпечити застосуванням систем побутового доочищення води, наприклад побутових фільтрів. Для зменшення витрат на водоочистку ефективним є розділення води за призначенням на питну і технічну. Необхідно зацікавити власників колодязів на офіційній основі зробити паспорт джерела водозабору, що також спростить контроль за якістю води. В період повеней та паводків, при відсутності водоочистки, слід використовувати фасовану питну воду.

Вважаємо доцільним на даній території облаштувати бювети, а в подальшому організувати кілька централізованих джерел водозабору. Для захисту підземних вод господарсько-побутовими стоками

обов'язковим є облаштування системи водовідведення. Зацікавленим відомством при організації такого водозабору може виступити підприємство питного водопостачання міста, або дочірнє підприємство чи приватні капіталовкладення.

Висновки

Підземні води, що використовуються населенням приміської зони м. Хмельницького, відносяться до Волино-Подільського артезіанського басейну і належать до водоносних горизонтів у відкладах сарматського регіоярусу міоцену та алювіальних відкладах голоценезу заплав річок і днищ балок. За хімічним складом води є сульфатно-гідрокарбонатні магнієво-кальцієві, хлоридно-гідрокарбонатні магнієво-кальцієві чи кальцієві з мінералізацією 0,5-1,1 г/дм^3. За результатами досліджень ці підземні води не відповідають вимогам, які встановлені відповідними національними стандартами, нормативами екологічної безпеки водокористування та санітарними нормами, за такими показниками якості, як вміст заліза (4,98 ГДК), амонію (1,21 ГДК) та сірководню (2 ГДК), що може становити загрозу для здоров'я споживачів. Тому безпечне споживання цих вод можливе після попередньої водоочистки.

Оптимальним варіантом вирішення питання забезпечення населення якісною питною водою із збереженням запасів та якості підземних вод є влаштування централізованого водопостачання з підземних водоносних горизонтів, а також обов'язкове облаштування системи водовідведення для запобігання забрудненню підземних вод господарсько-побутовими стоками.

Література

Яковлєв В. В. Перспективні джерела природних вод для питного водопостачання України, їх охорона і раціональне використання : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. геолог. наук : 21.06.01 / В. В. Яковлєв ; Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України. – Київ, 2017. – 35 с.

Климчик О. М. Оцінка якості підземних вод артезіанських свердловин заплави річки Норинь / О.М. Климчик, Д. С. Непрокін // Сучасні проблеми збалансованого природокористування : матеріали III міжнар. наук.-практ. конф., (листоп. 2008 р.). – Кам'янець-Подільський, 2008. – С. 67–70.

Мінеральні ресурси України : щорічник / Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України». – Київ, 2017. – 268 с.

Оглядові геологічні карти України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://geo.gov.ua/storinka/oglyadovi-geologichni-karty (дата звернення 15.12.2017).

Офіційний web-сайт Мінеральні ресурси України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://minerals-ua.info/#features (дата звернення 05.01.2018).

Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10) : наказ Міністерства охорони здоров'я України 12.05.2010 № 400. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 1 липня 2010 р. за № 452/17747. – 25 с.

References

Jakovljev V. V. Perspektyvni dzherela pryrodnykh vod dlja pytnogho vodopostachannja Ukrajiny, jikh okhorona i racionaljne vykorystannja : avtoref. dys. na zdobuttja nauk. stupenja dokt. gheologh. nauk : 21.06.01 / V. V. Jakovljev ; Instytut gheokhimiji navkolyshnjogho seredovyshha NAN Ukrajiny. – Kyjiv, 2017. – 35 s.

Klymchyk O. M. Ocinka jakosti pidzemnykh vod arteziansjkykh sverdlovyn zaplavy richky Norynj / O.M. Klymchyk, D. S. Neprokin // Suchasni problemy zbalansovanogho pryrodokorystuvannja : materialy III mizhnar. nauk.-prakt. konf., (lystop. 2008 r.). – Kam'janecj-Podiljsjkyj, 2008. – S. 67–70.

Mineraljni resursy Ukrajiny : shhorichnyk / Derzhavne naukovo-vyrobnyche pidpryjemstvo «Derzhavnyj informacijnyj gheologhichnyj fond Ukrajiny». – Kyjiv, 2017. – 268 s.

Oghljadovi gheologhichni karty Ukrajiny. – Rezhym dostupu: http://geo.gov.ua/storinka/oglyadovi-geologichni-karty (data zvernennja 15.12.2017).

Oficijnyj web-sajt Mineraljni resursy Ukrajiny [Elektronnyj resurs]. Rezhym dostupu: http://minerals-ua.info/#features (data zvernennja 05.01.2018).

Derzhavni sanitarni normy ta pravyla «Ghighijenichni vymoghy do vody pytnoji, pryznachenoji dlja spozhyvannja ljudynoju» (DSanPiN 2.2.4-171-10). Nakaz Ministerstva okhorony zdorov'ja Ukrajiny 12.05.2010 N 400. Zarejestrovano v Ministerstvi justyciji Ukrajiny 1 lypnja 2010 r. za N 452/17747. – 25 s.

Отримана/Received : 16.2.2018 р. Надрукована/Printed :26.3.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 637.5.02

Н.В. ФІЛІМОНОВА, С.О. ФІЛІМОНОВ, О.В. БАТРАЧЕНКО
Черкаський державний технологічний університет

ВПЛИВ ОБРОБКИ ТИСКОМ НА СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ М'ЯСА ПРИ ЙОГО ПОДРІБНЕННІ У ВОВЧКУ

Для подальшого ефективного розвитку та, відповідно, ефективної експлуатації такого виду технологічного обладнання, як вовчки, актуальним є вироблення достовірних рекомендацій щодо параметрів впливу робочих органів вовчків на м'ясну сировину. Досліджувались структурно-механічні та органолептичні властивості м'ясної сировини після її переробки в м'ясорубці та після подрібнення м'яса на кубики ножем вручну. *Встановлено, що найбільший модуль осьового стискання властивий яловичині, яка нарізана кубиками (52,27 кПа). Для такої ж сировини, яка оброблена тиском у 0,2 МПа та у 0,4 МПа, а також для м'ясного фаршу і м'ясної маси модуль осьового стискання приймає суттєво менші значення (48,68 кПа, 36,45 кПа, 33,50 кПа та 21,37 кПа відповідно). Найбільше напруження стандартної пенетрації також спостерігається для яловичині, яка нарізана кубиками (51,58 кПа), тоді як для такої ж сировини, яка оброблена тиском у 0,2 МПа та у 0,4 МПа, а також для м'ясного фаршу і м'ясної маси - 46,09 кПа, 43,62 кПа, 28,70 кПа та 15,09 кПа відповідно. Отримані результати дозволяють вважати обробку м'яса тиском у вовчках позитивним процесом, необхідним для отримання ковбасних виробів з високими органолептичними властивостями.*

Ключові слова: м'ясорізальний вовчок, м'ясо, тиск, фарш, реологічні властивості.

N.V. FILIMONOVA, S.O. FILIMONOV, A.V. BATRACHENKO
Cherkassy State Technological University

INFLUENCE OF PROCESSING PRESSURE ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF MEAT WHEN IT IS GRINDING IN A MEATGRINDER

For further effective development and, consequently, effective exploitation of this type of technological equipment, as meat grinders, relevant is the development of reliable recommendations on the impact parameters of the working bodies of gyroscopes on raw meat. Studied structural-mechanical and organoleptic properties of meat raw materials after being processed in a meat grinder and after grinding the meat into cubes with a knife by hand. The most common module axial compression characteristic of the beef, which is diced (52,27 kPa). For the same raw material treated with pressure of 0.2 MPa and 0.4 MPa, and also for minced meat and meat mass module axial compression takes significantly lower values (48,68 kPa kPa 36,45, 33,50 21,37 kPa and kPa, respectively). The maximum stress standard penetration is also observed for beef, which is diced (while 51.58 kPa), whereas for the same raw material treated with pressure of 0.2 MPa and 0.4 MPa, and also for minced meat and meat mass is of 46.09 kPa 43,62, 28,70 of 15.09 kPa and kPa, respectively. The impact of the pressure when grinding meat in a meat grinder and defines the delicate consistency of the meat and finished sausage products. Sliced meats do not achieve benchmarks finished sausage products. It is necessary to supplement the definition of "mince" to read as follows: "mince is meat, sliced and crushed." A purely compressive stress, which correspond to the pressure in the working chamber meat grinder, do not lead to the acquisition of raw materials, cut into cubes, the reference values of structural-mechanical and organoleptic properties. It is reasonable to study the effect of joint action of compressive and shear stresses on the indicated properties of the raw material. The meat processing pressure meat grinder should be considered a positive process necessary to obtain sausages with high organoleptic properties. To reduce losses of meat juice while it is appropriate to develop new methods which avoid the elimination of meat processing pressure.

Keywords: meat grinder, meat, pressure, mince, rheological properties.

Постановка проблеми

Кількісні та якісні показники виготовлених в промислових умовах ковбасних виробів суттєвим чином залежать від ефективності процесу подрібнення м'ясної сировини. І якщо для споживача багато з цих показників залишаються поза увагою, то органолептичні властивості продукту часто виступають на перший план. В спеціалізованих літературних джерелах [1, 2] вказується на актуальність всебічного зменшення стискання м'ясної сировини при подрібненні в м'ясорубках великої і малої продуктивності з метою зменшення втрат м'ясного соку та підвищення соковитості готового продукту.

Однак, подрібнення м'яса на вовчках до стану фаршу, за попередніми дослідженнями авторів статті, призводить не лише до зменшення розмірів шматочків сировини, а й до покращення їх органолептичних властивостей завдяки підвищенню м'якості та ніжності консистенції. Зважаючи на це обґрунтованим є припущення про позитивну роль обробки тиском м'ясної сировини при подрібненні у вовчках.

Для подальшого ефективного розвитку та, відповідно, ефективної експлуатації такого виду технологічного обладнання, як вовчки, актуальним є вироблення достовірних рекомендацій щодо параметрів впливу робочих органів вовчків на м'ясну сировину. Вирішенню саме цього завдання і присвячена дана робота.

Аналіз останніх джерел

В роботах [3–7] наведені результати дослідження робочих процесів у вовчках. Однак в них, як і в інших відомих роботах, не наведено даних про вплив прикладеного тиску на органолептичні та структурно-механічні властивості отримуваного фаршу чи готового продукту. Незважаючи на численні дослідження [6–9] реологічних властивостей м'яса та м'ясних напівфабрикатів, на даний час відсутні вичерпні відомості з впливу обробки тиском м'яса на означені властивості. Доцільним є дослідження модуля осьового стискання Е, напруження стандартної пенетрації $\Theta_{пен}$ та органолептичних властивостей різних видів м'ясної сировини

за умов відсутності та наявності обробки її тиском.

Метою роботи є встановлення характеру впливу тиску на структурно-механічні та органолептичні властивості м'яса при виготовленні з нього м'ясного фаршу.

Виклад основного матеріалу

Зважаючи на рекомендації [1, 2] щодо всебічного зниження стискання м'яса при його подрібненні до стану фаршу, можна дійти висновку, що у граничному випадку для подрібнення м'яса має бути застосоване обладнання, принцип дії якого аналогічний принципу дії дайсерів або шпигорізок. Як відомо, в них подрібнення м'ясної або жирової сировини на кубики однакового розміру відбувається системою пластинчастих та серповидних ножів. Саме такий принцип подрібнення дозволяє досягти найменшого стискання м'яса та видушування з нього м'ясного соку. В даному контексті цікавим є питання про можливість використання подрібненого таким чином м'яса в якості фаршу для виготовлення ковбасних виробів.

Згідно з ДСТУ 4424:2005 "Виробництво м'ясних продуктів. Терміни та визначення понять" м'ясний шрот- це м'ясо, подрібнене на вовчку крізь решітку з отворами діаметром 10-25 мм, м'ясний фарш – це м'ясо, подрібнене на устаткуванні крізь решітку з отворами діаметром 2–5 мм, м'ясна маса – це тонкоподрібнена пастоподібна маса, яку отримують під час відокремлення залишків м'яса від кісток. Відповідно до ДСТУ 4437:2005 "Напівфабрикати м'ясні та м'ясо-рослинні посічені. Технічні умови" м'ясний фарш – це однорідна маса мазкої консистенції без кісток, хрящів, жилок, грубої сполучної тканини, кров'яних згустків.

Отже, м'ясний фарш – це м'ясо, яке подрібнене на устаткуванні, в різальний комплект якого входять перфоровані решітки. Залежно від діаметру отворів вихідної решітки, таким устаткуванням може бути або вовчок або емульситатор. Це вказує на неминуче стискання м'яса шнеком вовчка при його продавлюванні крізь отвори перфорованих решіток різального вузла. Підсумовуючи вище означене, виникає питання про переваги і недоліки застосування вовчків і шпигорізок для отримання м'ясних фаршів, які використовуються при виготовленні ковбасних виробів.

Для відповіді на дане питання нами досліджувались структурно-механічні (СМВ) та органолептичні властивості м'ясної сировини після її переробки в м'ясорубці та після подрібнення м'яса на кубики ножем вручну. Об'єктами досліджень були (рис. 1):

- м'ясний фарш з яловичини вищого ґатунку, отриманий при подрібненні крізь решітку м'ясорубки з отворами діаметром 5 мм;
- яловичина, нарізана ножем на кубики зі стороною 5 мм (ЯНК);
- ЯНК, яка була піддана дії тиску стискання $P_{ст}$=0,2 МПа (відповідно до [10] в різальному вузлі вовчка виникають тиски порядку 0,05-0,8 МПа залежно від маси шматків вихідної сировини та залежно від гостроти різального інструменту вовчка);
- ЯНК, яка була піддана дії тиску стискання $P_{ст}$=0,4 МПа;
- м'ясна маса, отримана шляхом перетирання м'яса в зазорі між шнеком та циліндром м'ясорубки при закритій вихідній решітці.

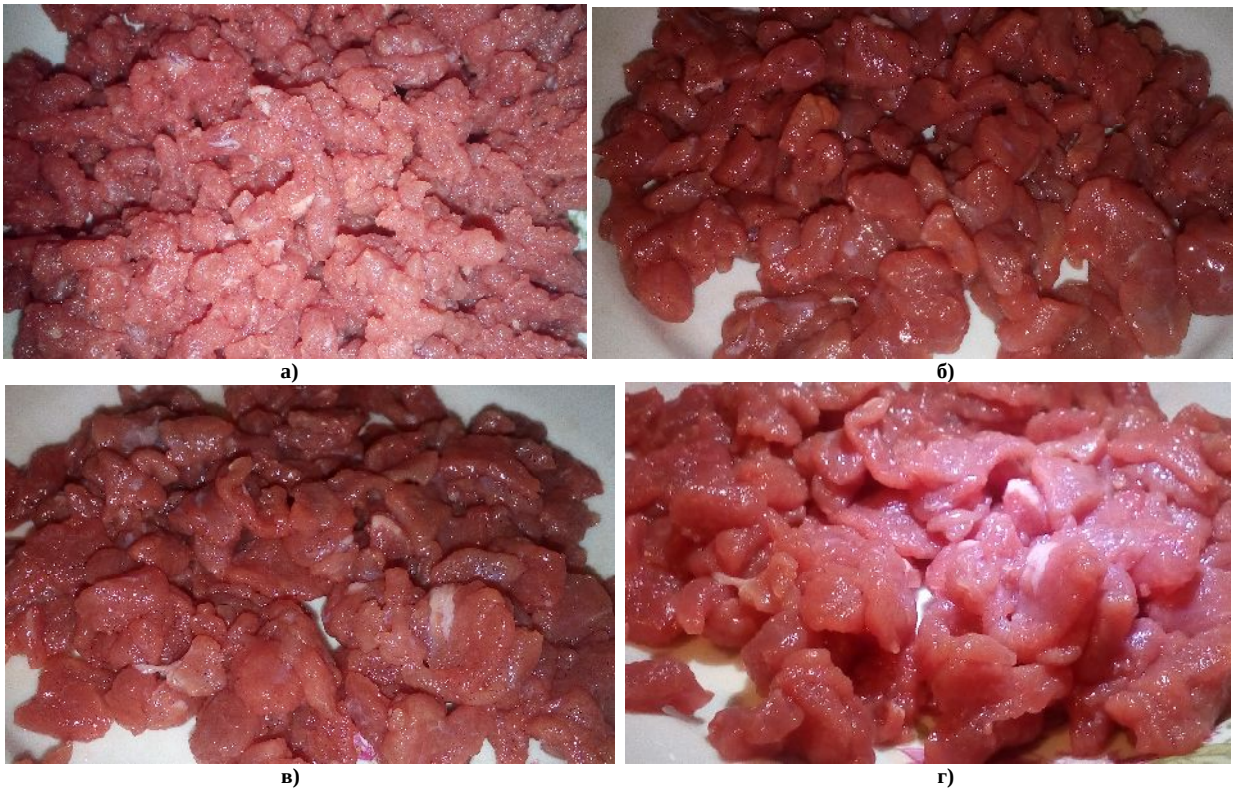


Рис. 1. Загальний вигляд досліджуваних видів сировини:
а) м'ясний фарш; б) яловичина, нарізана кубиками; в) яловичина, нарізана кубиками та піддана дії тиску $P_{ст}$=0,2 МПа;
г) яловичина, нарізана кубиками та піддана дії тиску $P_{ст}$=0,4 МПа

Обробка сировини тиском полягала у розміщенні шматків сировини між опорою і натискною плитою і у наступному встановленні вантажу масою *m* на натискну плиту (рис. 2). Після 10 секунд дії тиску, сировина розвантажувалась та підлягала вимірюванню СМВ та органолептичних властивостей.

Значення прикладеного тиску визначалось за відомим виразом:

$$P_{CT} = \frac{m \cdot g}{S}, \quad (1)$$

де m – маса вантажу, кг; g – прискорення вільного падіння, g=9,81 м/с^2;
S – площа, на якій розміщена порція сировини, м^2.

Для визначення СМВ сировини використовувалась модифікована електромеханічна універсальна випробувальна машина SANS CMT2503 лабораторії м'ясних продуктів Інституту продовольчих ресурсів НААН України (м. Київ). Універсальна випробувальна машина SANS CMT2503 (рис. 3), призначена для визначення міцнісних та структурно-механічних властивостей різних матеріалів. В ній використовується принцип замкненої цифрової системи керування та вимірювань із застосуванням комп'ютера, на дисплей якого виводиться необхідна інформація у цифровому або графічному вигляді. При цьому результати випробувань автоматично обробляються та зберігаються в пам'яті системи.

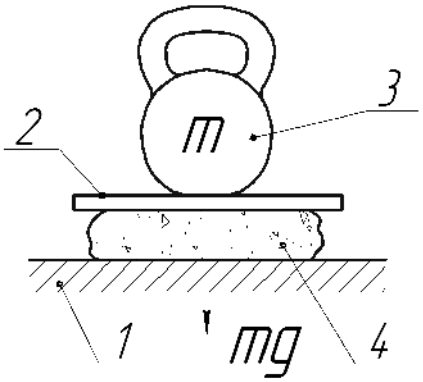


Рис. 2. Схема обробки м'ясної сировини тиском: 1 – опора; 2 – натискна плита; 3 – вантаж; 4 – м'ясна сировина

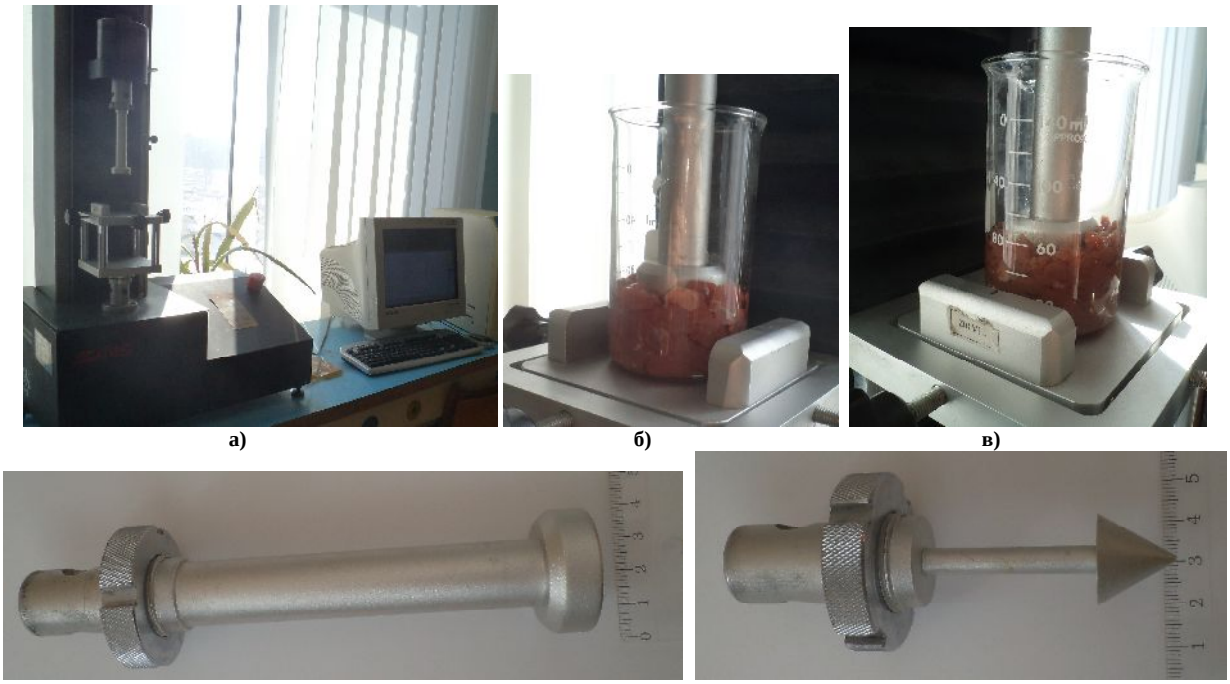


Рис. 3. Універсальна випробувальна машина SANS CMT2503:
а) загальний вигляд; б) вимірювання модуля осьового стискання для ЯНК; в) вимірювання модуля осьового стискання для ЯНК, яка була піддана дії тиску стискання $P_{ст}$=0,2 МПа; г) індентор у вигляді циліндричного плунжера; д) індентор Magness-Teylor

Визначались модуль осьового стискання Е та напруження стандартної пенетрації $\Theta_{пен}$ сировини. Використовувались наступні насадки з інденторами: циліндричний плунжер – для визначення Е (рис. 3, г); індентор Magness-Teylor – для визначення $\Theta_{пен}$ (рис. 3, д). Під час досліджень сировину встановлювали під індентор в циліндричній кюветі під траверсою машини, центруючи відносно індентора, після чого вмикали привод. Швидкість руху індентора була $1{,}67 \cdot 10^{-4}$ м/с при визначенні Е та $3{,}33 \cdot 10^{-4}$ м/с при визначенні $\Theta_{пен}$.

Модуль осьового стискання визначався за виразом:

$$E = \frac{P}{S_0} \cdot \frac{h_0}{h_1}, \text{ Па} \quad (2)$$

де P – зусилля стискання, Н (визначається на прямолінійній ділянці кривої "навантаження-

деформація”);

S_0 – початкова площа перерізу зразка, м^2;

h_0 – початкова висота зразка, м; h_1 – висота зразка після стискання, м;

Напруження стандартної пенетрації визначалось за формулою П. О. Ребіндера:

$$\Theta_{пен} = k_\alpha \cdot \frac{P}{h^2}, \text{ Па} \quad (3)$$

де P – зусилля пенетрації, Н (визначається на прямолінійній ділянці кривої “навантаження-деформація”);

h – глибина занурення конуса, м; k_α – константа конуса (при α = 60º k_α = 0,214).

Коефіцієнт пропорційності модуля осьового стискання відносно м’ясного фаршу:

$$k_E = \frac{E_i}{E_{м.ф.}}, \quad (4)$$

де E_i – модуль осьового стискання i-го виду сировини, Па;

$E_{м.ф.}$ – модуль осьового стискання м’ясного фаршу, Па.

Коефіцієнт пропорційності напруження стандартної пенетрації:

$$k_\Theta = \frac{\Theta_i}{\Theta_{м.ф.}}, \text{ Па} \quad (5)$$

де Θ_i – напруження стандартної пенетрації i-го виду сировини, Па;

$\Theta_{м.ф.}$ – напруження стандартної пенетрації м’ясного фаршу, Па.

Органолептичний аналіз проводився згідно ДСТУ 4823.1:2007 "Продукти м’ясні. Органолептичне оцінювання показників якості. Частина 1. Терміни та визначення понять" та згідно ДСТУ 4823.2:2007 "Продукти м’ясні. Органолептичне оцінювання показників якості. Частина 2. Загальні вимоги". Визначалась цілісність структури шматочків подрібненої сировини та здатність шматочків м’яса до розшарування на окремі волокна та на пучки волокон при розтиранні шматочків пальцями.

Отримані графічні залежності СМВ наведені на рис. 4, 5, а результати визначення структурно-механічних та органолептичних властивостей сировини – в таблиці 1.

Встановлено, що м’ясний фарш після подрібнення в м’ясорубці володіє значно м’якшою консистенцією і кращими органолептичним властивостями в порівнянні з яловичиною, нарізаною на кубики. Шматочки фаршу при розтиранні їх пальцями розпадаються на окремі волокна та на пучки волокон.

Яловичина, нарізана на кубики та піддана обробці тиском, наближається за своїми структурно-механічними властивостями до м’ясного фаршу по мірі збільшення значення прикладеного тиску. Однак навіть при тиску $P_{ст}$=0,4 МПа розшаровування шматочків на окремі волокна чи на пучки волокон не спостерігається.

М’ясна маса володіє ще меншими значеннями структурно-механічних властивостей та ще більш ніжною консистенцією в порівнянні з м’ясним фаршем.

Таблиця 1

Структурно-механічні та органолептичні властивості м’ясної сировини

№	Вид м’ясної сировини (консистенція)	Властивості сировини				
		Модуль осьового стискання Е, кПа	Коефіцієнт пропор-ційності k_E	Напруження стандартної пенетрації $\Theta_{пен}$, кПа	Коефіцієнт пропор-ційності k_Θ	Здатність сировини до розшаровуванн я на волокна
1	ЯНК	57,27	1,71	51,58	1,80	-
2	ЯНК, $P_{ст}$=0,2 МПа	48,68	1,45	46,09	1,61	-
3	ЯНК, $P_{ст}$=0,4 МПа	36,45	1,09	43,62	1,52	-
4	М’ясний фарш	33,50	-	28,70	-	+
5	М’ясна маса	21,37	0,64	15,09	0,53	+

Висновки

Експериментальним шляхом досліджено структурно-механічні та органолептичні властивості м’ясної сировини, яка переробляється у вовчках. Встановлено, що найбільший модуль осьового стискання властивий яловичині, яка нарізана кубиками (52,27 кПа). Для такої ж сировини, яка оброблена тиском у 0,2 МПа та у 0,4 МПа, а також для м’ясного фаршу і м’ясної маси модуль осьового стискання приймає суттєво менші значення (48,68 кПа, 36,45 кПа, 33,50 кПа та 21,37 кПа відповідно). Найбільше напруження стандартної пенетрації також спостерігається для яловичині, яка нарізана кубиками (51,58 кПа), тоді як для такої ж сировини, яка оброблена тиском у 0,2 МПа та у 0,4 МПа, а також для м’ясного фаршу і м’ясної маси – 46,09 кПа, 43,62 кПа, 28,70 кПа та 15,09 кПа відповідно.

Саме вплив тиску при подрібненні м’яса у вовчках і м’ясорубках визначає ніжну консистенцію фаршу та готових ковбасних виробів з нього. Отримані результати дозволяють стверджувати, що з точки зору технології виготовлення ковбас м’ясний фарш – це м’ясо, яке нарізане та роздавлене. Нарізане м’ясо

(кубики, отримані на дайсері чи шпигорізці) не дозволяє досягти еталонних показників готових ковбасних виробів.

Суто напруження стискання, які відповідають тиску в робочій камері вовчка, не призводять до набуття сировиною, що нарізана на кубики, еталонних значень структурно-механічних та органолептичних властивостей. Доцільним є вивчення впливу сумісної дії стискаючих та зсувних напружень на означені властивості сировини.

Обробку м'яса тиском у вовчках слід вважати позитивним процесом, необхідним для отримання ковбасних виробів з високими органолептичними властивостями. Для зменшення втрат м'ясного соку при цьому доцільною є розробка нових методів, які виключають усунення обробки м'яса тиском.

Література

1. Ивашов В.И. Новое в конструировании волчков: Обзор информ. / В.И. Ивашов. – М. : АгроНИИТЭИММП, 1988. – 38 с.

2. Некоз О.І. Проектування м'ясорізальних вовчків : навч. посіб. / О.І. Некоз, О.В. Батраченко. – Мін-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2014. – 221 с.

3. Бубыренко В. К. Исследование волчков с целью повышения их эффективности и долговечности рабочих органов : автореф. дис. … канд. техн. наук. – Москва : МТИММП, 1977. – 24 с.

4. Горяев В. В. Совершенствование конструкций и методики расчета режущего механизма Волков : автореф. дисс. на соиск. научной степени кандидата технических наук / В. В. Горяев. – Москва, 1989. – 16 с.

5. Максимов Д. А. Разработка адаптированного гибкого подающего рабочего органа в волчках : автореф. дисс. на соиск. научной степени кандидата технических наук / Д. А. Максимов. – Москва, 2008. – 21 с.

6. Батраченко О. В. Підвищення ефективності роботи та довговічності м'ясорізальних машин : дис. канд. … техн. наук : 05.18.12 / Батраченко О. В. – Вінниця, 2014. – 284 с.

7. Філімонова Н. В. Підвищення ефективності роботи вовчків шляхом узгодження подачі та процесу подрібнення м'ясної сировини : дис. канд. … техн. наук : 05.18.12. – Харків, 2017. – 216 с.

8. Schnackel W., Krickmeier J., Oktaviani, Dmitrinka Schnackel, I. Micklisch, „Untersuchungen zur optimierung des wolfprozesses. Teil 1“, Fleischwirtschaft, № 7, 2011 pp. 83–87.

Schnackel W., Krickmeier J., Pongjanyanukul W., Dmitrinka Schnackel, I. Micklisch, „Untersuchungen zur optimierung des wolfprozesses. Teil 1“, Fleischwirtschaft, № 1, 2012, pp. 88–92.

1. Андрианов А.С. Определение динамических нагрузок волчка / А.С. Андрианов, Г.А. Мартынов, Г.Н. Крючков // Мясная индустрия СССР. – 1981. – № 5. – С. 32–34.

2. References

3. Yvashov, V. Y. Novoe v konstruyrovanyy volchkov: Obzor ynform. / V. Y. Yvashov. – M.: AhroNYYTЭYMMP, 1988. – 38 s.

4. Nekoz, O. I. Proektuvannia miasorizalnykh vovchkiv / O. I. Nekoz, O. V. Batrachenko. - Navch. posib.; M-vo osvity i nauky Ukrainy, Cherkas. derzh. tekhnol. un-t. – Cherkasy: ChDTU, 2014. – 221 s.

5. Bubyrenko, V. K. Yssledovanye volchkov s tseliu povyshenyia ykh effektyvnosty y dolhovechnosty rabochykh orhanov: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk. Moskva: MTYMMP, 1977. 24 s.

6. Ghorjaev V. V. Sovershenstvovanye konstrukcyj y metodyky rascheta rezhushhegho mekhanyzma volchkov, avtoref. dyss. na soysk. nauchnoj stepeny kandydata tekhnycheskykh nauk, Moskva, 1989, pp.16.

7. Maksymov D. A. Razrabotka adaptyrovannogho ghybkogho podajushhegho rabochegho orghana v volchkakh, avtoref. dyss. na soysk. nauchnoj stepeny kandydata tekhnycheskykh nauk, Moskva, 2008, pp.21.

8. Batrachenko, O. V. Pidvyshchennia efektyvnosti roboty ta dovhovichnosti miasorizalnykh mashyn: dys. kand. tekhn. nauk: 05.18.12. Vinnytsia, 2014. 284 s.

9. Filimonova, N. V. Pidvyshchennia efektyvnosti roboty vovchkiv shliakhom uzghodzhennia podachi ta protsesu podribnennia miasnoi syrovyny: dys. kand. tekhn. nauk: 05.18.12. Kharkiv, 2017. 216 s.

10. Schnackel W., Krickmeier J., Oktaviani, Schnackel D., Micklisch I.Untersuchungen zur optimierung des wolfprozesses, Fleischwirtschaft, 2011, Vol.1, №7, pp. 83-87.

11. Schnackel W., Krickmeier J., Pongjanyanukul W., Schnackel D., Micklisch I.Untersuchungen zur optimierung des wolfprozesses, Fleischwirtschaft, 2012, Vol.1, № 1, pp. 88-92.

12. Andryanov, A. S. Opredelenye dynamycheskykh nahruzok volchka / A. S. Andryanov, H. A. Martynov, H. N. Kriuchkov // Miasnaia yndustryia SSSR. 1981. - № 5. - S. 32–34.

Отримана/Received : 16.2.2018 р. Надрукована/Printed :26.3.2018 р.
Рецензент: д. т. н., проф. В. Я. Гальченко

УДК 685

О.С. ПОЛІЩУК, А.К. КАРМАЛІТА
Хмельницький національний університет
О.П. БУРМІСТЕНКОВ
Київський національний університет технологій та дизайну

ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВИРОБІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ЇХ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

В даній статті розглядаються основні різновиди полімерних матеріалів, які використовуються в легкій промисловості для виробництва взуття, одягу, шкіргалантерейних виробів та наводяться їх властивості.

Ключові слова: взуття, одяг, шкіра, текстильний матеріал, полімерні матеріали, легка промисловість.

O.S. POLISHCHUK, A.K. KARMALITA
Khmelnytskyi National University
O.P. BURMISTENKOV
Kyiv National University of Technologies and Design

POLYMER MATERIALS FOR PRODUCTION OF PRODUCTS OF LIGHT INDUSTRY AND THEIR PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES

Light industry of Ukraine is a diversified complex on production of footwear and clothes today. Potential opportunities of the enterprises of light industry allow to make a wide range of products, capable to satisfy all demand of domestic market. Products of light industry are consumer goods and great demands are placed on their quality. There is a set of the materials applied to production of footwear and clothes. Today chemical industry actively develops. In the future it will lead to emergence of new materials for light industry. Use of perspective modern materials with various physicomechanical properties and technologies of their production will promote production of high-quality products. They will meet all requirements of customers and conditions of their safe use. The carried-out review of the materials used for production of footwear and clothes has shown that to them consumer and production (technological) requirements are shown. Consumer requirements generally are defined by purpose of products and their use. Physicomechanical indicators influence both technological properties, and operational. Of them there are also requirements to materials for production of footwear and clothes. All this needs to be considered when using operations of light industry, especially: cutting, perforation, marking, branding, stamping and so forth.

Keywords: footwear, clothes, leather, textile material, polymer materials, light industry.

Вступ

Легка промисловість України сьогодні є багатогалузевим комплексом із виробництва взуття, одягу та шкіргалантерейних виробів. В галузі легкої промисловості функціонує понад 10 тис. малих, середніх і великих підприємств на яких працює біля 150 тис. працівників, зокрема у: текстильній промисловості – близько 2,5 тис., виробництві готового одягу і хутра – близько 6 тис., шкіри і шкіряного взуття – близько 1,5 тис. Потенціальні можливості підприємств легкої промисловості дозволяють виробляти широкий спектр товарів, здатних задовольнити весь попит внутрішнього ринку [1].

Постановка проблеми

Вироби легкої промисловості є товарами широкого вжитку і до їх якості пред'являються високі вимоги. Якість – це сукупність властивостей виробу, її придатність задовольняти потреби людини відповідно з призначенням. Сукупність тих чи інших властивостей, що визначають якість виробу, безпосередньо пов'язана з призначенням виробу та вимогами, що пред'являються споживачем. Якість виробів легкої промисловості (взуття, одягу, шкіргалантерейних виробів і т.п.) формується ще на стадії їх проектування та обумовлюється обґрунтованим вибором основних і допоміжних матеріалів, раціональною конструкцією устаткування і оснастки, досконалістю технологічного процесу [2]. Тому для виробництва взуття, одягу та шкіргалантерейних виробів, в першу чергу, необхідні матеріали різної природи і призначення, з різними фізико-механічними властивостями, що можуть забезпечити необхідну якість виробу.

Метою статті є огляд основних різновидів полімерних матеріалів, які використовуються в легкій промисловості для виробництва взуття, одягу, шкіргалантерейних виробів та їх властивостей.

Виклад основного матеріалу

Взуттєвий виріб складається з деталей верху і деталей низу, з'єднаних між собою певним методом кріплення. При носінні деталі низу взуття відчувають великі навантаження, як з внутрішньої, так і з зовнішньої сторони. Різна ступінь навантажень впливає на деформації, що виникають в матеріалі при роботі деталей низу. У зв'язку з цим, до матеріалів пред'являється ряд вимог, задоволення яких дозволяє взуттю якісно виконувати свої основні функції [3].

Комплекти матеріалів, якими можуть бути представлені деталі низу та верху взуття, приведені на рис. 1. Як видно із рис. 1, деталі верху (а) і низу взуття (б) виготовляються із різноманітних матеріалів: натуральних матеріалів (натуральна шкіра, хутро, повсть, тощо) і різних полімерних композицій (штучна і синтетична шкіра, гума, пінополіетилен, поліуретан, поліефіри, полівінілхлорид, термоеластопласти тощо).

При виготовленні взуття основні матеріали використовують для виготовлення зовнішніх, внутрішніх і проміжних деталей верху і низу. До матеріалів верху відносять натуральні, штучні і синтетичні м'які шкіри, текстильні матеріали (тканини, трикотажні полотна, неткані матеріали, повсть, фетр),

натуральне і штучне хутро. Матеріалами низу взуття являються натуральна жорстка шкіра, каучук, гума, пластмаси, картони і деревина та інші.

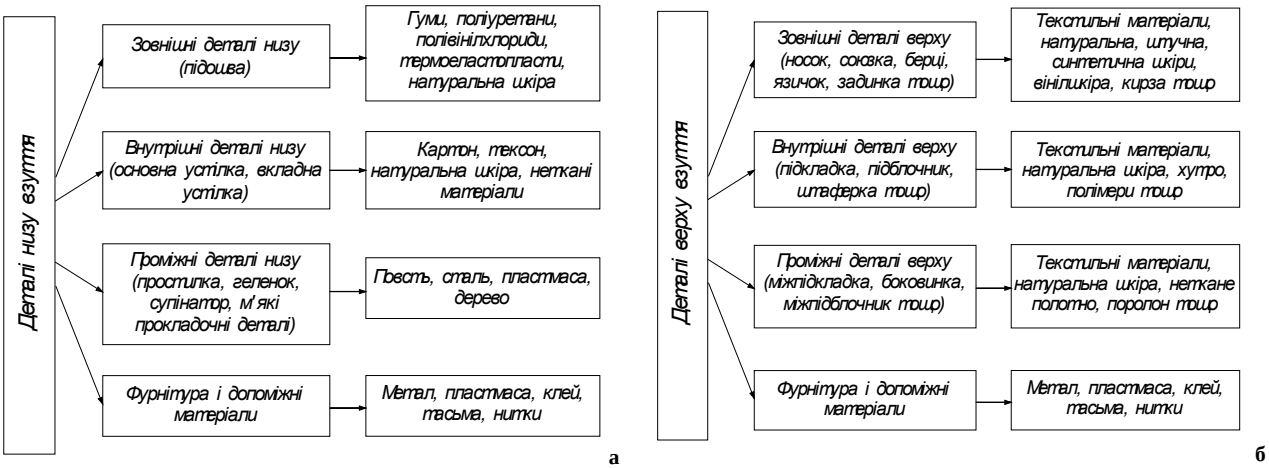


Рис. 1. Комплект матеріалів: а – для деталей низу взуття; б – для деталей верху взуття

Допоміжні матеріали призначені для скріплення деталей, оздоблення та прикраси взуття. Скріплювальними матеріалами є нитки, цвяхи, гвинти, шпильки і клеї. До оздоблювальних матеріалів відносять фарби, апретури і полірувальні матеріали, текстильно-галантерейні вироби (шнури, стрічки, тасьму), взуттєву фурнітуру (пряжки, кнопки, блочки, гачки, застібки, хольнітени, люверси, пуклі тощо).

Всі матеріали, які використовуються для виготовлення одягу, класифікуються за ознакою призначення. Відповідно до цієї класифікації матеріали поділяються на групи: основні; прикладні; підкладкові; утеплювальні; матеріали для з'єднання деталей одягу (швейні нитки, клеї); оздоблювальні матеріали; фурнітура для одягу (ґудзики, кнопки, люверси, застібки-блискавки тощо) [4].

Основні матеріали для виготовлення одягу поділяються на групи тканин: бавовняні і лляні; сорочково-платтяні; шовкові; костюмні; пальтові і плащові. Також використовуються натуральні та штучні шкіри, замша, штучне хутро. Підкладкові матеріали – це тканини, які використовуються як підкладки в одязі, в процесі експлуатації піддаються інтенсивному тертю, тому вони насамперед повинні володіти міцністю до стирання. Прикладні матеріали використовуються для додавання форми деталям швейних виробів, їх збереження, а також для зміцнення деталей швейних виробів. Особливістю прикладних матеріалів є підвищена жорсткість. Утеплювальні матеріали використовуються для виготовлення утеплювальних підкладок в одязі.

Допоміжні матеріали призначені для з'єднання деталей, оздоблення та прикраси одягу. Матеріали для з'єднання деталей бувають ниткові і клейові, зварні та комбіновані з'єднання деталей і вузлів швейних виробів. До оздоблювальних матеріалів відносяться стрічки, тасьма, шнури, мережива, а також тканини, шкіра, замша, хутро, ґудзики, бісер тощо. До фурнітури одягу відносяться ґудзики, гачки, петлі, пряжки, кнопки, люверси, застібки-блискавки.

Для виготовлення виробів шкіряної галантереї застосовуються різноманітні матеріали. Вони підрозділяються на основні і допоміжні. До основних матеріалів відносять натуральні, штучні і синтетичні шкіри, текстильні матеріали. Допоміжні матеріали застосовують для скріплення основних деталей і обробки виробу. До скріплювальних матеріалів відносяться нитки, клеї тощо. До оздоблювальних – фарби, апретури, фурнітура [5]. Для шкіргалантерейних виробів широко застосовуються натуральні, штучні, синтетичні шкіри і плівкові матеріали. Часто в одному виробі використовуються натуральна і синтетична шкіри, оформлені в єдиному стилі. Застосовуються також тканини різноманітного складу, переплетення, обробки.

Таким чином, одним із суттєвих факторів, що формує якість і конкурентоспроможність взуття, одягу та шкіргалантерейних виробів є матеріали, які використовуються в процесі їх виготовлення. Більш детально зупинимося на основних матеріалах, що використовуються для їх виготовлення.

Одним з найкращих матеріалів для виготовлення взуття, є натуральна шкіра. Відомо, що 95% всієї шкіри, складається з тісного сплетіння найтонших волокон і пучків волокон особливої білкової речовини – колагену, що відрізняється дуже високою міцністю [6]. Поєднання волокнистої структури, великої міцності волокон і високої пористості визначає все найбільш цінні властивості натуральної шкіри. Так, наприклад, шкіра, з якої виготовляють верх взуття, витримує близько 4-5 млн згинів і при цьому не ламається. Така висока міцність на згин обумовлена волокнистою структурою шкіри і її високою пористістю. Пористість натуральної шкіри визначає її високу проникність для повітря і водяної пари, а також високі теплозахисні властивості, що важливо з точки зору гігієни взуття.

Однак, при всіх своїх безперечних перевагах натуральна шкіра як матеріал для взуття має ряд істотних недоліків. Основний її недолік – неоднорідність по товщині, структурі і щільності, що створює труднощі у виробництві стандартного взуття.

Сировиною для виробництва натуральних шкір є шкури великої рогатої худоби, кіз, овець та інших

тварин. Їх якість формується на різних етапах життєвого циклу і залежить від великої кількості факторів [7]. При цьому найбільш суттєвим фактором є спосіб дублення. Для того щоб шкіра стала більш щільною, жорсткою, водостійкою, проводять її обробку. Після оздоблювальних операцій (пролежування, промивання, розводки, фарбування, шліфування та ін.) шкіра набуває приємного зовнішнього вигляду. Хромові шкіри мають достатньо гарні гігієнічні властивості, вони пружні, пластичні, формостійкі, мають гарний зовнішній вигляд. Лакова шкіра застосовується для модельного взуття, вона має ошатний вигляд, блискучу поверхню, однак її гігієнічні властивості невисокі. Сьогодні у взуттєвому виробництві досить популярною сировиною є замша, яка має достатньо велику тягучість, м’якість, добру повітропроникність, і є стійкою до дії води. Її, зазвичай, використовують для виготовлення верху модельного взуття. Юфтеві шкіри виробляють комбінованим методом дублення – це товсті, м’які шкіри з високим вмістом жиру (26–30%), водостійкі. До найбільш цінного виду юфті відноситься юфть з ялівки. Залежно від призначення юфть буває взуттєва і сандальна.

Натуральні шкіри в шкіргалантерейній промисловості застосовуються для виробництва жіночих сумок, папок, портфелів, дрібних шкіргалантерейних виробів, валіз, рукавиць, поясних та годинникових пасків. Застосовуються шкіри з різними способами і характерами лицьової обробки – шкіри з природною лицьовою поверхнею гладкі, нарізні, «м’яті», з художнім тисненням, з підшліфованою лицьовою поверхнею (нубук), зі шліфованої лицьовою поверхнею гладкі, нарізні, з художнім тисненням, велюр. Широко застосовуються лакові шкіри з поліуретановим покриттям, з перламутровим ефектом, з металізованою поверхнею тощо.

Велика частина виробів, що випускаються легкою промисловістю виготовляється з використанням полімерних матеріалів, як в якості основного матеріалу, так і в якості фурнітури, швейних ниток і різноманітних оздоблювальних елементів. Найбільш широко для виготовлення найрізноманітніших виробів легкої промисловості (одягу, взуття, сумок, валіз, рукавиць і ін.) використовуються штучні шкіри різноманітних кольорів, фактур поверхні і синтетичні ткані матеріали. Штучні шкіри у виробництві виробів легкої промисловості мають певні переваги в порівнянні з натуральними: дозволяють забезпечити більш низьку масу виробу; здешевити процес виробництва; урізноманітнити зовнішній вигляд виробів за рахунок фактур, що імітують різну мерію натуральних шкір, забезпечити гарні функціональні характеристики [2].

Найбільш важливими характеристиками штучних шкір є механічні показники, такі як стійкість до стирання, міцність на розривання, видовження при розтягуванні, міцність на згинання, морозостійкість, термостійкість, міцність зчеплення лицьового шару з основою на протязі всієї експлуатації. У свою чергу, властивості штучних шкір для виробів легкої промисловості визначаються структурою армуючої основи, видом і якістю сировини і матеріалів, вибором технологічного регламенту їх виробництва.

Такі механічні властивості штучних шкір, як міцність, розтяг багато в чому залежать від матеріалу основи. Волокнистою основою служать тканини, трикотаж, папір, а також різні неткані матеріали, що застосовуються в залежності від призначення виробу. В якості текстильних матеріалів для основи штучних шкір застосовують поліамід, поліефіри, поліакрилонітрил, ароматичні поліаміди, скло тощо. Використання арамідних текстильних матеріалів дозволяє отримати низьку шаруватість і масу шкіри. Текстильні матеріали з поліефірних та акрилових волокон для основи штучних шкір сприяють їх стійкості до атмосферних впливів.

Покриття штучної шкіри формується за допомогою просочення волокнистої основи (наскрізне покриття) або нанесенням полімеру на поверхню основи (поверхневе покриття), використовується і поєднання цих методів. У разі малого значення показника міцності зчеплення лицьового шару з основою відбувається відшаровування лицьового шару, що позначається на якості виробу.

Основним компонентом штучної шкіри є плівкоутворююча полімерна композиція. У сучасному виробництві в якості плівкоутворювачів застосовуються в основному синтетичні високомолекулярні сполуки: полівінілхлорид, поліуретани, синтетичні латекси, гумові суміші на основі різних каучуків тощо.

Можливість варіювання пом’ягчувачів, наповнювачів, пороутворювачів, стабілізаторів, фарбників і інших відкриває перспективи створення нових матеріалів з поліпшеними властивостями, дозволяє отримати широкий асортимент матеріалів з різним комплексом властивостей, і в кінцевому підсумку забезпечити необхідний рівень якості виробу легкої промисловості.

Використання даних матеріалів при виготовленні взуття, одягу та шкіргалантерейних виробів і якісного виконання даних операцій сприятиме виробництву високоякісної продукції, яка буде конкурентоздатною, відповідатиме всім вимогам замовника і технічним умовам її безпечного використання.

Останнім часом композиційна шкіра широко використовується для виготовлення взуття та шкіргалантерейних виробів [8]. Вона представляє собою матеріал з подрібнених шкіряних волокон, спресованих при високому тиску з додаванням з’єднувального агенту або без нього. За властивостями натуральних шкір, як об’єктів білкового походження, є великий об’єм інформації, а дані по дослідженню композиційних шкір практично відсутні. Композиційну шкіру у відповідності до прийнятої класифікації полімерів можна розглядати як штучний матеріал – натуральну шкіру, що піддалася обробці. Синтетичну шкіру на тканій, нетканій або трикотажній основі також застосовують в якості шкіроподібного матеріалу, що імітує або замінює натуральну шкіру.

В роботі [8] також проводилися дослідження фізико-механічних властивостей композиційної і синтетичної шкіри при одноосьовому розтягуванні. Межа міцності при розриві склала: для композиційної

шкіри 23,4 МПа, для синтетичної шкіри 3,9 МПа. Відносне видовження при розриві: для композиційної шкіри 68,5 %, для синтетичної шкіри 5,3 %. Штучні (композиційні) шкіри не можуть в повній мірі конкурувати з натуральними, вони гірше за гігієнічним властивостями, стійкістю до багаторазових впливів, здатністю до формуванню. Найменшу міцність мають синтетичні шкіри на волокнистій основі, тому їх зміцнюють тонкою армуючою тканиною. За фізико-механічним властивостями цей вид взуттєвих матеріалів близький до натуральної шкіри.

Суттєвою перевагою композиційних шкір є їх більш низька собівартість виробництва. Тому, на даний час, виробники використовують композиційні матеріали для деталей верху взуття. Однак слід відмітити, що за фізико-механічними властивостями композиційні шкіри не є прямим аналогом натуральної шкіри.

До дешевих композиційних матеріалів, що замінює натуральну шкіру, відноситься кирза. Кирза являє собою товстий, порівняно жорсткий штучний композиційний матеріал, отриманий просоченням бавовняної основи спеціальними складами на основі каучуку. Основні позитивні властивості кирзи: легкість; механічна міцність до проколів, стирання, розривів; гнучкість; хороша проникність для повітря; стійкість до дії води; невисока вартість тощо. Використовується для виготовлення робочого та спеціального взуття (армійських чобіт, черевик), планшетів, приводних пасів, а також для пошиття робочих рукавиць, сумок, захисних фартухів, спецодягу тощо.

Полівінілхлорид (ПВХ) часто використовується для виробництва підошви для взуття через низку переважаючих характеристик. Він еластичний і легкий, демонструє неймовірну міцність при багаторазових згинах, має високий рівень електроізоляції. Найбільш часто ПВХ застосовується для виготовлення весняного та літнього взуття для повсякденного носіння.

Серед розмаїття матеріалів для виготовлення підошви для взуття поліуретан займає одну з лідируючих позицій. У чистому вигляді це досить жорсткий і не гнучкий матеріал, який після спеціальної обробки має цінні якості, а саме: він стає легким (у спіненому вигляді), більш податливим для виготовлення взуття. Поліуретанова підошва зносо-, термо-, морозостійка. На поліуретані можуть бути виготовлені мокасини і кросівки, а також взуття для холодної пори року.

Поряд з поліуретановою, термопластична підошва (ТЕП) є однією з найпопулярніших і однією, що найбільш часто зустрічається. У розплавленому стані термоеластопласт досить текучий, а тому з нього без прикладання зусилля можна виготовляти як просту підошву, так і підошву складної конфігурації (наприклад, рифлену). Підошва з ТЕП стійка і довговічна. Вона значно легше гуми, тому надзвичайно комфортна. Єдиний мінус – низька термостійкість (може деформуватися при температурі у 70 ^{0}С).

Гуму для виробництва підошви використовують уже кілька століть і вона до цих пір не втратила своєї актуальності. Цей матеріал з самого початку демонстрував чудові показники зносостійкості, не боявся перепадів температур, мав добру гнучкість і міцність, не псувався при тривалому зберіганні. Ці властивості не тільки збереглися в наші дні, але і покращилися. Завдяки застосуванню особливих технологій, матеріал став легше, а термін його служби збільшився. На відміну від інших матеріалів, гума до того ж демонструє хороші експлуатаційні якості: за взуттям на гумовій підошві легко доглядати, вона практична, не вибаглива, неймовірно комфортна в носінні. Матеріал застосовується для виробництва кросівок, кед, черевик, чобіт, тощо.

Пориста гума – м’який матеріал, який часто застосовують у виробництві ортопедичного взуття (а також черевик, чобіт, кросівок, босоніжок). Від інших він відрізняється тепло- і холопровідністю, тобто влітку нога не буде нагріватися від асфальту, взимку – мерзнути.

Шкірволон – пориста гума шкіроподібного вигляду, всередині якої є спеціальний наповнювач волокнистого походження. Шкірволон дуже схожий зі шкірою. Його відмінною рисою є підвищена довговічність і зносостійкість. Він міцний, надійно протистоїть стиранню, не деформується при впливі на нього температур, зручний і комфортний в експлуатації. Найчастіше цей матеріал застосовується при створенні демісезонного взуття.

Текстильні матеріали для верху взуття стають все більш популярними в світі моди: шовк для модельних туфель, трикотажні полотна для літніх напівчобітків, повсть для утеплення взуття і т.п. На даний час за об’ємом використання у взуттєвому виробництві текстильні матеріали слідують за натуральною шкірою, значно перевершуючи об’єм штучних і синтетичних матеріалів. Не менше 50% взуття різного призначення, що випускається, має підкладку з тканого, нетканого матеріалів або трикотажу. До 25% річного випуску становить взуття, у якому всі деталі верху (зовнішні і внутрішні) виготовлені з текстильних полотен [9].

Сировинний склад текстильних матеріалів для взуття практично не обмежений. Традиційно переважає використання бавовняних полотен, як для зовнішніх, так і для внутрішніх деталей взуття, що становить 53%, напіввовняних тканин – 33%, шовкових – 13%, шовкових і лляних – близько 1%.

Широке застосування текстильних матеріалів у взуттєвому виробництві пояснюється їх цінними властивостями: стандартністю форми і розмірів, невеликою масою, високими значеннями повітро- і паропроникності, гігроскопічності, що дозволяє застосовувати їх у взутті різного статевікового призначення, достатньою міцністю. Межі міцності при розтягуванні або видовженні нерівномірні за напрямками (основа і уток, ширина і довжина полотна). За пружно-пластичними властивостями, формостійкостю і зносостійкостю текстильні взуттєві матеріали поступаються лише натуральній шкірі.

Найбільш перспективними є текстильні матеріали, виготовлені на основі різних хімічних волокон. Серед хімічних волокон, що застосовуються для отримання волокнистих матеріалів різного призначення, виділяють такі основні групи: волокна і нитки загального призначення, в тому числі їх модифіковані види; еластомерні нитки; високоміцні нитки, в тому числі нитки, що отримують за допомогою фібрілювання плівок; надміцні високомодульні нитки; термостійкі і тяжкогорючі волокна і нитки; волокна і нитки зі специфічними фізичними, фізико хімічними і хімічними властивостями. Різні властивості текстильних матеріалів, виготовлених на основі хімічних волокон, забезпечують їм широке використання при виготовленні взуття, одягу та галантерейних виробів.

Об'єм виробництва і споживання нетканих матеріалів зростає. Це зв'язано з тим що випуск нетканих матеріалів є самим коротким і дешевим способом отримання широкого асортименту полотен від вихідної сировини до готової продукції. Швидкому розвитку ринку нетканих матеріалів в світі сприяло створення високопродуктивних способів їх хімічного виробництва: з розплаву полімеру, з роздування полімеру, термоскріплення, гідроструменевого скріплення, фільєрного способу виробництва і ін. [10].

Взуттєві неткані матеріали наділені наступними перевагами: стійкість до стирання; пластичність; відмінно зберігають тепло; міцні на розрив та прокол; екологічно чисті; легко дублюються з іншими взуттєвими матеріалами. Матеріали, залежно від призначення та цілей використання, в готових виробах (взуття) можуть мати різні властивості (структуру, колір і т.п.) [11].

Взуттєві неткані матеріали можуть бути наступних типів: неткане полотно для виготовлення устілок (вставні і заливні); неткані полотна для внутрішніх деталей взуття (підкладочні матеріали, вставки та утеплювачі); неткані матеріали для формування задників та носків взуття.

Неткане полотно для виготовлення устілок – це синтетичне полотно, яке виготовляється голкопробивним методом з подальшою термофіксацією або без неї. Переваги устілкового полотна: відмінні теплоізоляційні властивості; довговічність; практичність, зносостійкість; екологічність; не піддаються продавлюванню, деформації. Неткані полотна для внутрішніх деталей взуття (підкладочні матеріали, вставки та утеплювачі) в залежності від призначення їх у виробі (взутті), відрізняються по своїй структурі: жорсткістю, поверхневою щільністю та кольором. Неткані матеріали для формування задників та носків взуття є достатньо жорсткі по своїй структурі, стійкі до стирання та довговічні. Завдяки термофіксації, дані полотна мають необхідну міцність та тримають форму у готовому виробі (взутті).

Фізико-механічні властивості нетканих матеріалів суттєво відрізняються. На них також впливає наявність вологи. Вплив вологості в більшій мірі помітний для натурального волокнистого нетканого матеріалу: щоб розірвати натуральний матеріал у вологому стані треба прикласти силу, більш ніж удвічі більшу, ніж для синтетичного матеріалу, при цьому видовжуватися (розтягуватися) натуральний матеріал буде майже вдвічі більше, ніж синтетичний. Крім того, велика маса синтетичної вихідної сировини для виготовлення вироби легкої промисловості буде відбиватися на більшій масі виробу, що свідчить на користь натурального волокнистого складу повсті. Проте менше відносне видовження синтетичного матеріалу свідчить на користь його більшої формостійкості [10].

Взуттєвий картон представляє собою листовий матеріал, що складається з подрібнених шкіряних, целюлозних і інших волокон і наповнювачів, проклеєних латексами, дисперсіями або емульсіями полімерів. За способом виготовлення розрізняють картони мокрого і сухого способів виробництва. Картон мокрого способу виробництва отримують формуванням шляхом одно- або багатошарового відливу за технологією паперового виробництва. Картон сухого способу виробництва отримують по технології формування полімерних нетканих матеріалів. Дані картони відрізняються великою пористістю і кращими гігієнічними характеристиками [12].

При виготовленні взуття використовують вирубані з листів картону деталі: устілки, простілки, задники тощо. Залежно від призначення картон виготовляють певних видів і марок, для яких нормовані основні показники: товщина картону, його щільність, жорсткість при згині, межа міцності при розтягуванні, намокаємість, формуємість, формостійкість і інші.

На даний час перше місце в світі по об'єму випуску займає взуття клейового методу кріплення низу. Основним конструктивним елементом такого взуття є основна устілка, що виготовляється переважно з картону. Від властивостей картонів, що використовуються буде залежати ефективність технологічних процесів виробництва даного взуття і цілий ряд його важливих ергономічних властивостей, таких як згинальна та опорна жорсткість, приформованість низу взуття до стопи та ін.

Дослідження фізико-механічних властивостей різних марок картонів проведені в роботі [13]. Дані дослідження показали, що межа міцності та відносне видовження різних марок картонів коливаються в широких межах. Значення межі міцності картону при розтягуванні в сухому стані коливаються в широких межах: від 5,51 до 25,01 МПа. Мінімальною межею міцності при розтягуванні характеризуються картони марок «Alfatex», «Flexan 330 Cellsan», «Flexan speciale», максимальним – картони марок «Altex 50» і «Flexil». Відносне видовження при розтягуванні картонів, що досліджувалися в сухому стані склало 3,6–14,6%. Найменшими деформаційними характеристиками відрізняються картони марок «Konitex» і «Plantex». Найбільш високі значення даного показника відзначаються у картонів марок «Flexil» і «Flexan speciale».

Проведені дослідження автором даної роботи показали, що властивості взуттєвих картонів, викроєних вздовж і поперек листа, значно відрізняються. Межа міцності при розтягуванні в поперечному напрямку в 1,5–2 рази нижче, а відносне видовження при розтягуванні в 1,5–2 рази вище, ніж відповідні

значення даних показників зразків, викроєних в поздовжньому напрямку. Коефіцієнт рівномірності для всіх картонів, що досліджувалися склав 0,45–0,80, що є типовим для картонів багатошарового відливу на відміну від картонів одношарового відливу, що володіють більш рівномірними властивостями по площі.

Існує безліч і інших матеріалів, що застосовуються для виробництва взуття, одягу та шкіргалантерейних виробів. На сьогоднішній день хімічна промисловість активно розвивається, що в майбутньому приведе до появи нових матеріалів для легкої промисловості. Використання перспективних сучасних матеріалів з різними фізико-механічними властивостями і технологій їх виробництва сприятиме виробництву високоякісних виробів, що будуть відповідати всім вимогам замовників і технічним умовам їх безпечного використання.

Результат роботи

Проведений огляд полімерних матеріалів, що використовуються для виготовлення взуття, швейних та шкіргалантерейних виробів, показав, що до них пред'являються споживчі і виробничі (технологічні) вимоги.

Споживчі вимоги в основному визначаються призначенням виробів і їх використанням.

При виготовленні взуття, одягу та шкіргалантерейних виробів і їх експлуатації на матеріали діють розтягуючі, стискаючі, згинаючі зусилля, причому в деяких випадках різні зусилля діють спільно і багаторазово повторюються. Тому виробничі вимоги характеризуються певними фізико-механічними і технологічними властивостями. До цих властивостей можна віднести: границю міцності при розтязі, видовження, вологість, тягучість, жорсткість, стійкість до проколів голки, формуємість, жорсткість, стійкість до багатократних згинів, напруження при появі тріщин лицьового шару, пружне і залишкове видовження, термостійкість тощо. Наявність у матеріалу певних властивостей визначає його використання для виробництва певного виробу.

Наприклад, видовження шкіри відіграє важливу роль при виготовленні і експлуатації взуття, але не галантерейних виробів, так як оцінює формовочні властивості матеріалів, а як відомо, галантерейні вироби в процесі виробництва не піддаються великим величинам деформації. Чим більше доля залишкових видовжень в загальному видовженні шкіри, тим вона пластичніше. Вироби із шкіри з великим залишковим видовженням швидко втрачають форму під час експлуатації. Таким чином, співвідношення запасів пружних і залишкових видовжень в матеріалах повинно бути оптимальним. Бажано, наприклад, щоб шкіра мала пластичність при формуванні заготовки взуття і пружність при його експлуатації.

Показник напруження при появі тріщин лицевого шару, як правило, нижче, чим загальна міцність шкіри. Це говорить про те, що руйнування шкір починається з лицьового шару, який піддається більшим зовнішнім впливам. У натуральних шкір з неміцним лицьовим шаром (хромові, юфтеві) при затяжці і в процесі носіння з'являються тріщини.

При виробництві взуття та шкіргалантерейних виробів окремі деталі піддаються стиканню і згину. Слід відмітити, що шкіра краще піддається стисканню, чим розтягу: опір шкіри стисканню в 5–10 разів більше опору розтягу. При дії згинаючих зусиль матеріал розтягується з однієї сторони і стискається з іншої. Деякі деталі піддаються багатократному згину. Одним з найбільш важливих показників, що характеризують можливість тривалої експлуатації шкіряних виробів є стійкість покриття шкіри до багатократного згину.

По якості, наприклад, натуральні шкіри для деталей верху взуття і галантерейних виробів повинні бути не жорсткими, а для деталей низу взуття навпаки – жорсткими.

Висновки

Вище перераховані фізико-механічні показники полімерних матеріалів впливають як на технологічні властивості, так і на експлуатаційні характеристики виготовленого взуття, одягу чи шкіргалантерейних виробів. Їх необхідно враховувати при виконанні операцій легкої промисловості, а саме: вирубування, перфорування, маркування, клеймування, тиснення тощо.

Література

1. Касьян Л.Е. Стан та перспективи розвитку легкої промисловості України / Л.Е. Касьян // Науковий вісник Ужгородського національного університету. – 2016. – Вип.6. Ч. 1 – С. 147–150.

2. Гаврилова О.Е. Применение перспективных полимерных материалов в легкой промышленности для повышения качества изделий / О.Е. Гаврилова, Л.Л. Никитина // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – № 18. – С. 96–99.

3. Махоткина Л. Ю. Полимерные материалы, обеспечивающие улучшение гигиенических свойств деталей низа / Л.Ю. Махоткина, Р.М. Галялутдинова, Н.В. Тихонова // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 21. – С. 162–163.

4. Гуралюк А.Г., Куштан Г.В., Нежур В.С. та ін. Електронний підручник з предмета "Товарознавство непродовольчих товарів" з професії продавець непродовольчих товарів кваліфікація: 4 розряд. – Ужгород, 2016.

5. Товароведение экспертиза промышленных товаров : учебник / Неверов А.Н., Чалых Т.Н., Пехташева Е.Л. и др. ; под ред. проф. А.Н. Неверова. – М.: МЦФЭР, 2006. – 848 с.

6. Тихонова Н.В. Натуральные и синтетические полимеры в современном производстве обуви / Н.В. Тихонова, Т.В. Жуковская, Л.Ю. Махоткина // Вестник Казанского технологического университета. –

2010. – № 9. – С. 369–372.

7. Хімич В. І. Визначення і обґрунтування споживчих властивостей взуття / В.І. Хімич, Г.І. Хімічева, А.С. Зенкін // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 5(3). – С. 24–26.

8. Бекк Н.В. Изучение свойст композиционной кожи / Н.В. Бекк, О.Э. Кошелева, В.А. Володин, Л.Ю. Махоткина // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 6. – С. 106–108.

9. Гаврилова О.Е. Применение перспективных полимерных материалов в легкой промышленности для повышения качества изделий / О.Е. Гаврилова, Л.Л. Никитина // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – № 15. – С. 190–194.

10. Фаткулина Р.Р. Оценка свойств нетканых волокнистых материалов / Р.Р. Фаткулина // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 24. – С. 34–35.

11. Взуттєві полотна [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://pulsarua.com/uk/product/vzuttyevi-polotna

12. Махоткина Л.Ю. Полимерные композиционные материалы в производстве обуви / Л.Ю. Махоткина, Н.В. Тихонова, Е.А. Емельцова // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 6. – С. 300–301.

13. Еспенко Ю.А. Комплексное исследование свойств современных стелечных картонов / Ю.А. Еспенко, Р.Н. Томашева, Т.М. Борисова, В.Е. Горбачик // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2012. – Вып. 22. – С. 47–53.

References

1. Kasian L.E. Stan ta perspektyvy rozvytku lehkoi promyslovosti Ukrainy / L.E. Kasian // Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. - 2016. – Vyp.6. Ch. 1 - S. 147-150.

2. Gavrilova O.E. Primenenie perspektivnyih polimernyih materialov v legkoy promyishlennosti dlya povyisheniya kachestva izdeliy / O.E. Gavrilova, L.L. Nikitina // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo univer-siteta. - 2014. - 18. - S. 96-99.

3. Mahotkina L. Yu. Polimernyie materialyi, obespechivayuschie uluchshenie gigienicheskih svoystv de-taley niza / L.Yu. Mahotkina, R.M. Galyalutdinova, N.V. Tihonova // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. - 2013. - 21. - S. 162-163.

4. Guralyuk A.G., Kushtan G.V., Nezhur V.S., Kiyak N.O., Mikula N.I., Fedor V.F., Demchishin G.S., Palosh N.M. Elektronniy pIdruchnik z predmeta "Tovaroznavstvo neprodovolchih tovarIv" z profesIYi prodavets ne-prodovolchih tovarIv kvalIfIkatsIya: 4 rozryad. - Uzhgorod, 2016.

5. Neverov A.N., Chalyih T.N., Pehtasheva E.L. i dr. Tovarovedenie ekspertiza promyishlennyih tovarov: Uchebnik / Pod red. prof. A.N. Neverova. - M.: MTsFER, 2006. - 848 s.

6. Tihonova N.V. Naturalnyie i sinteticheskie polimeryi v sovremennom proizvodstve obuvi / N.V. Tihonova, T.V. Zhukovskaya, L.Yu. Mahotkina // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. - 2010. - 9. - S.369-372.

7. Khimych V. I. Vyznachennia i obgruntuvannia spozhyvchykh vlastyvostei vzuttia / V.I. Khimych, H.I. Khimicheva, A.S. Zenkin // Vostochno-Evropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnolohyi. - 2013. - № 5(3). - S. 24-26.

8. Bekk N.V. Izuchenie svoyst kompozitsionnoy kozhi / N.V. Bekk, O.E. Kosheleva, V.A. Volodin, L.Yu. Mahotkina // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. - 2013. - 6. - S. 106-108.

9. Gavrilova O.E. Primenenie perspektivnyih polimernyih materialov v legkoy promyishlennosti dlya povyisheniya kachestva izdeliy / O.E. Gavrilova, L.L. Nikitina // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo univer-siteta. - 2012. - 15. - S. 190-194.

10. Fatkulina R.R. Otsenka svoystv netkanyih voloknistyih materialov / R.R. Fatkulina // Vestnik Ka-zanskogo tehnologicheskogo universiteta. - 2013. - 24. - S.34-35.

11. Vzuttievi polotna [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: http://pulsarua.com/uk/product/vzuttyevi-polotna

12. Mahotkina L.Yu. Polimernyie kompozitsionnyie materialyi v proizvodstve obuvi / L.Yu. Mahotki-na, N.V. Tihonova, E.A. Emeltsova // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. - 2011. - 6. - S. 300-301.

13. Espenko Yu.A. Kompleksnoe issledovanie svoystv sovremennyih stelechnyih kartonov / Yu.A. Espen-ko, R.N. Tomasheva, T.M. Borisova, V.E. Gorbachik // Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. – 2012. – Vyip. 22. – S.47–53.

Рецензія/Peer review : 17.02.2018 р. Надрукована/Printed :26.03.2018 р.
Рецензент: к.т.н., проф. Драпак Г.М.

УДК 628.35

С.В. КОНОНЦЕВ, Ю.Р. ГРОХОВСЬКА
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне
Л.А. САБЛІЙ, М.С. КОРЕНЧУК
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АДАПТАЦІЯ РЯСКОВИХ (*LEMNOIDEAE*) ДО УМОВ ОРГАНІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ

У роботі досліджено стійкість до органічного забруднення перспективних для культивування в очисних спорудах оборотної води УЗВ видів рослин. Визначено темпи росту ряскових як показника рівня адаптації до вмісту у воді органічних сполук.

Ключові слова: *біологічне очищення води, УЗВ, культивування ряскових.*

S.V. KONONTCEV, Y.R. GROKHOVSKA
National University of Water and Environmental Engineering, Rivne
L.A. SABLIY, M.S. KORENCHUK
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

LEMNOIDEAE ADAPTATION TO ORGANIC POLLUTION OF WATER

One of the promising biotechnologies for de-eutrophication is the usage of the lemnoideae assimilation potential for water fining from biogenic elements, especially from compounds of nitrogen and phosphorus. The recirculating aquaculture system of the fish farming and controlled parameters of the aquatic environment create additional conditions for the effective use of the specified biotechnology in order to remove the main liquid metabolites from reversible water. The purpose of this work is to study the adaptation of lemnoideae to organic pollution in water and to identify the most promising species for use as remediation agents in recirculating aquaculture systems (RAS). The research was carried out on the possibility of lemnoideae adaptation to organic pollution for water surfaces, which receive insufficiently treated household wastewater. To do this, in the plastic containers were placed purified water and a different volume of moist sludge, which was selected on the dirtiest section of the Ustia river below the wastewater disposal of the treatment facilities in Rivne. The dynamic of lemnoideae amount change over time was investigated. The dynamics of the ammonia concentration decrease in water was investigated. The dynamics of the Lemnoideae amount change showed different sensitivity of the species to pollution in the process of cultivation with different volumes of sludge from the contaminated river. According to the results of cultivation, good prospects for use as bioremediators for improving the quality of water are Lemna minor (doubling time – up to 5.2 days), Spirodela polyrrhiza (up to 5.9 days), Wolffia arrhiza (up to 7.6 days). Various reproduction potential and resistance to pollution in certain species allows them to be combined in different proportions, forming an effective bioremediation group.

Keywords: *biological water treatment, RAS, the duckweed cultivation.*

Вступ. Однією з перспективних біотехнологій деевтрофікації є використання асиміляційного потенціалу ряскових для глибокого очищення води від біогенних елементів, особливо від сполук азоту та фосфору. Замкнутий контур водопостачання рибницького господарства та контрольовані параметри водного середовища створюють додаткові умови для ефективного використання зазначеної біотехнології з метою видалення основних рідких метаболітів риб з оборотної води. Під час створення закритих систем очищення води, перспективним є використання тропічних видів, які не мають сезонних явищ у розвитку, однак здатні до інтенсивного вегетативного розмноження. Ряд переваг, які дозволяють розглядати ряскові як перспективні об'єкти для культивування у фітореакторі, зумовлюють інтерес саме до цієї групи рослин. Водночас, підбір рослин має ґрунтуватись також на можливості їх адаптації до параметрів забрудненої води.

Аналіз останніх досліджень. Відомо, що ряскові характеризуються інтенсивним вегетативним розмноженням і різною чутливістю до забруднення. У країнах тропічного та субтропічного поясів окремі види є популярними очисними агентами у системах очищення господарсько-побутових стічних вод [1–3], доочищення стоків тваринницьких комплексів [4, 5], виробництва біопалива [6, 7]. В межах України реалізація асиміляційного потенціалу ряскових є актуальною для систем з оборотним водопостачанням, де існує можливість створення оптимальних умов для культивування рослин впродовж усього року. Одним із перспективних напрямів використання ряскових у ролі очисного агента є відновлення якості оборотної води рибницьких установок із замкнутим водопостачанням (УЗВ), економічна доцільність якого обґрунтована можливістю використання приросту біомаси рослин в якості поживної підкормки для вирощуваних риб [8, 9]. Основною функцією рослин у таких системах відновлення якості води буде видалення з води Нітрогену, що міститься у формі амоній-йону як основного продукту метаболізму риб. Водночас, у забрудненій оборотній воді УЗВ міститься також значна кількість розчинених та дрібнодисперсних органічних сполук [10], які потенційно можуть пригнічувати розвиток рослин. Відповідно, аналіз адаптаційних можливостей окремих представників даної групи рослин дозволить визначити найперспективніші види для культивування з метою очищення води.

Метою даної роботи є дослідження адаптації ряскових до вмісту органічного забруднення у воді та визначення найперспективніших видів для використання в ролі очисних агентів у системах із замкнутим водопостачанням.

Результати дослідження. З метою дослідження стійкості ряскових до комбінованого забруднення води і можливостей їх культивування в ролі очисних агентів було проведено дослідження можливості адаптації до органічного забруднення, характерного для водойм, у які потрапляють недостатньо очищені

господарсько-побутові стічні води. Для цього у пластикові ємності помістили очищену воду і різний об'єм вологого мулу, який був відібраний на найбруднішій ділянці р. Устя нижче скидного колектора очисних споруд м. Рівне. Кількість внесеного мулу у проби води коливалась від 2 до 30 мл (I – 2, II – 4, III – 6, IV – 8, V – 10, VI – 20, IV – 30), що дозволяло створити суттєві розбіжності у рівні забруднення модельних розчинів.

Для порівняння результатів досліду і побудови графіків фіксували зміну чисельності (встановлювали абсолютну кількість рослин в ємностях, яку ділили на початкову кількість) [11]. Відповідно, в результаті досліджень визначено найчутливіші роди та види, що мають кращу адаптацію до вказаних забруднень.

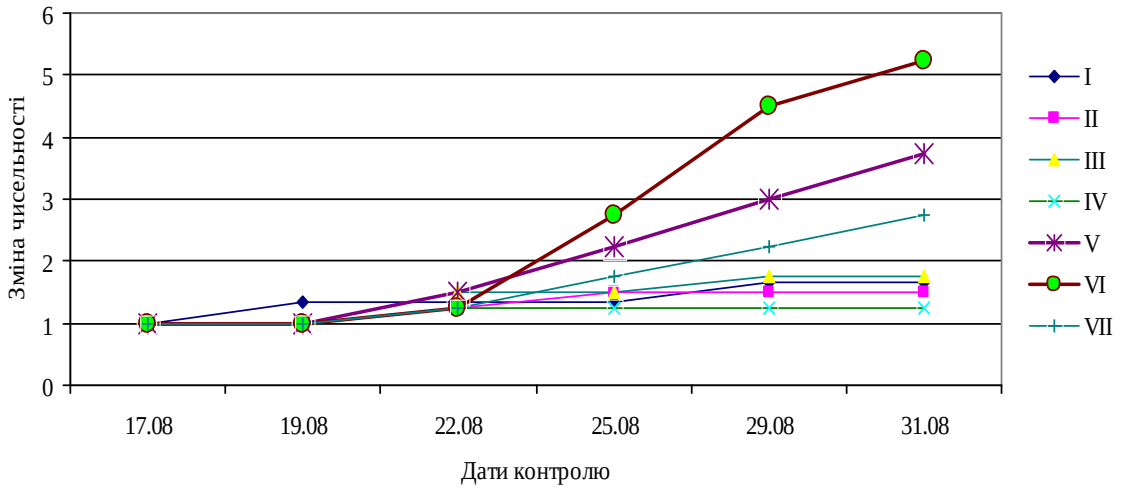


Рис. 1. Динаміка чисельності *Spirodela polyrrhiza*

Чисельність ряски триборозенчастої (*Lemna trisulca*) зазнала найбільших трансформацій – в усіх ємностях у рослин з'явилися некрози і вони загинули, крім одної – з мінімальною концентрацією мулу (рис. 2). Проте, і тут кількість рослин впродовж експерименту зросла лише у 1,4 разу.

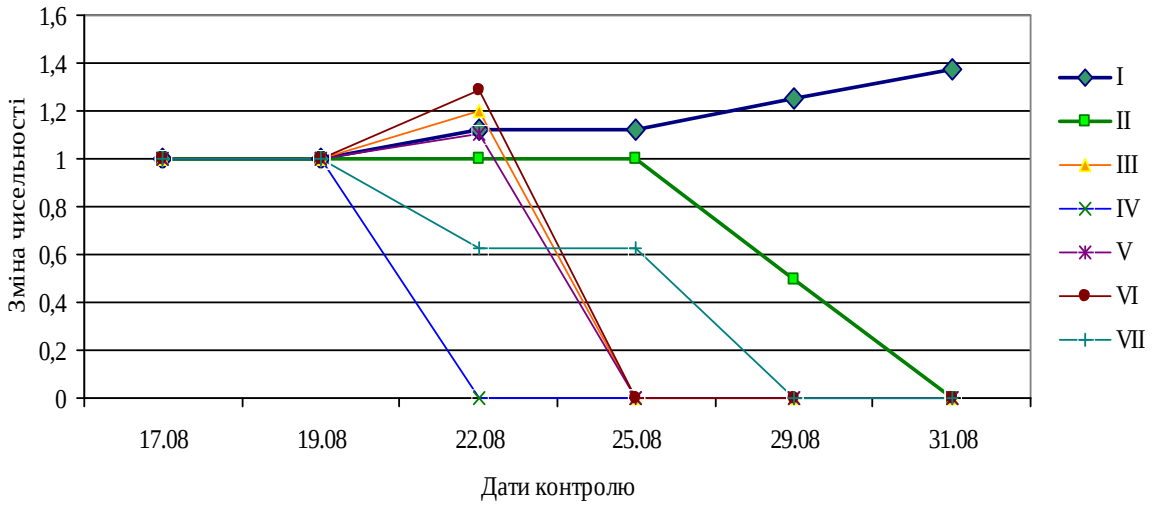


Рис. 2. Динаміка чисельності *Lemna trisulca*

Підрахунок чисельності спіродели багатокореневої (*Spirodela polyrrhiza*) впродовж експерименту показав, що в усіх ємностях кількість рослин поступово зростала (рис. 1). Особливо чисельність спіродели зросла в ємностях з найбільшим обсягом внесеного мулу: 10 мл – у 3,75 разів, 20 мл – у 5,25 разів, 30 мл – у 2,75 разів. Репродуктивний потенціал виду максимально реалізувався в ємності з об'ємом мулу 20 мл (r_{max}= 0,119). Отже, коефіцієнт миттєвого зростання популяції (r) для спіродели становив від 0,016 до 0,119, а час подвоєння чисельності ($t_{подв}$) – від 43,5 до 5,9 діб відповідно.

Отже, коефіцієнт миттєвого зростання популяції ряски триборозенчастої в умовах мінімального забруднення r = 0,023, а час подвоєння чисельності ($t_{подв}$) – 30,5 діб. Можливо, лімітуючим чинником для виду виступив високий вміст у воді органічних речовин, оскільки з наукових джерел відомо, що *L. trisulca* – олігосапроб [12].

Чисельність ряски малої (*Lemna minor*) впродовж експерименту поступово зростала (рис. 3).

Коефіцієнт миттєвого зростання популяції (r) набував значень від 0,01 до 0,134, а час подвоєння чисельності ($t_{подв}$) – від 73 до 5,2 діб. Найбільше число рослин в останній день експерименту зафіксовано в трьох ємностях із найбільшим обсягом внесеного мулу, а максимальний приріст чисельності (у 6,5 разів) відбувся в умовах найбільшої його концентрації (30 мл). Оскільки максимально швидкий приріст чисельності і, отже, максимальна реалізація репродуктивного потенціалу виду (r_{max} = 0,134) відбулися в ємності з найбільшою концентрацією мулу, це свідчить про значну стійкість цього виду до забруднення води і добру перспективу використання у ролі біоремедіатора.

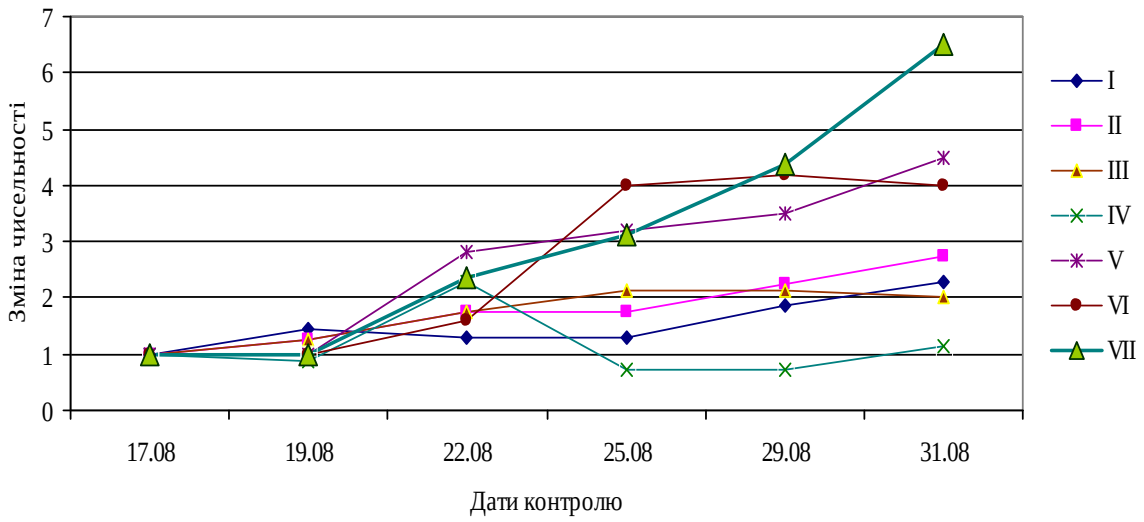


Рис. 3. Динаміка чисельності *Lemna minor*

Впродовж експерименту в трьох ємностях з найбільшою концентрацією мулу (10, 20 і 30 мл) чисельність вольфії безкореневої (*Wolffia arrhiza*) поступово зростала, а в решті – знижувалась (рис. 4).

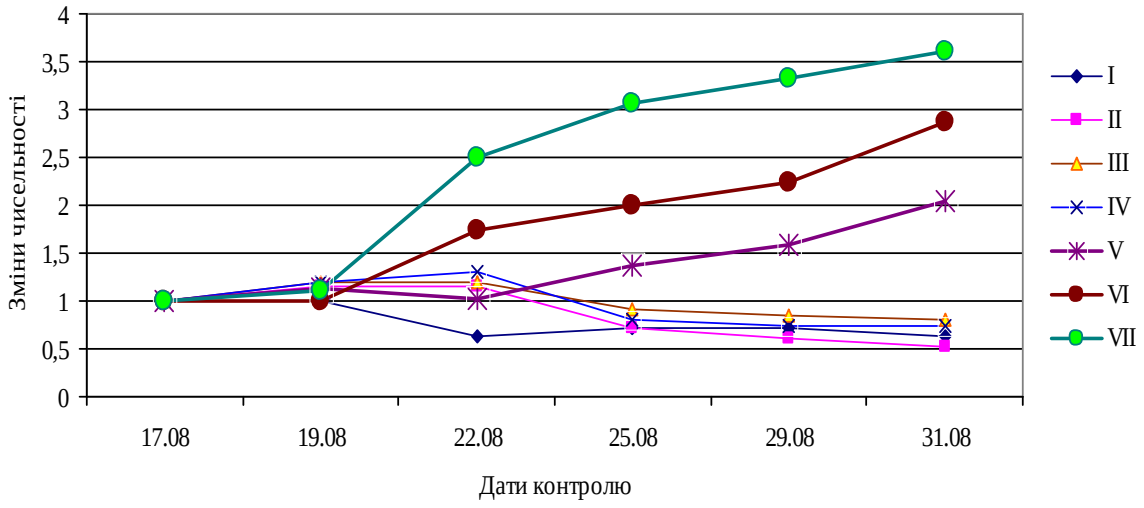


Рис. 4. Динаміка чисельності *Wolffia arrhiza*

Отже, в ємностях з низьким вмістом мулу склалися умови, які перешкоджають реалізації репродуктивного потенціалу виду – очевидно, тут у воді були відсутні у необхідній кількості елементи живлення. Максимальну кількість рослин зафіксовано в умовах найбільшої кількості мулу – вона зросла відносно початкової кількості в 3,6 разів (r_{max} = 0,092). Подвоєння чисельності вольфії ($t_{подв}$) відбулося у термін від 13,6 до 7,6 діб. Вольфія впродовж експерименту показала високу потребу в елементах живлення, значну резистентність до забруднення і досить швидкий приріст чисельності – ознаки доброго біоремедіатора водних екосистем, які зазнають евтрофікації й органічного забруднення.

Найстійкішими до забруднення виявилися ряска мала (*L. minor*) і спіродела багатокоренева (*S. polyrrhiza*). Вони мали максимальний приріст чисельності впродовж експерименту – у 6,5 і 5,25 разів. У цілому резистентна до забруднення вольфія (*W. arrhiza*), очевидно потребує високого вмісту поживних речовин у воді, оскільки добре розмножувалася лише в умовах внесення підвищеного обсягу мулу.

Максимальна концентрація амоній-іонів (4,77 і 5,02 мг/дм^3) зафіксована на третій день

експерименту в ємностях із найбільшим об'ємом внесеного мулу – 20 і 30 мл (рис. 5). За нормативами комплексної екологічної класифікації якості вод така концентрація амоній-іонів відповідає 7 категорії якості, а вода характеризується як гіпертрофна. Впродовж експерименту спостерігалось зниження вмісту амоній-йонів в усіх ємностях – спочатку різке, особливо помітне на високих концентраціях на 6 добу експерименту, потім повільніше. Мінімальна сумарна концентрація (0,286 мг/дм^3) спостерігалася на 12 добу спостережень.

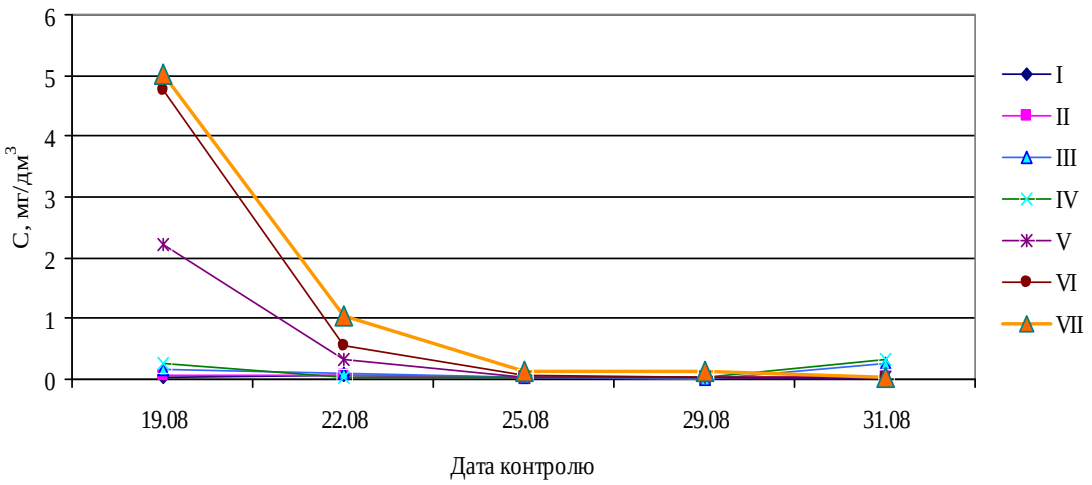


Рис. 5. Динаміка концентрації NH_4^+ під час культивування ряскових

У двох ємностях (з вмістом мулу 6 і 8 мл) на 15 добу експерименту зросла концентрація амоній-іонів до показників, які перевищили початкові значення, що можна пояснити наслідками розкладу органічної речовини мулу.

Висновки. Динаміка чисельності ряскових у процесі культивування з різним об'ємом мулу із забрудненої річки показала різну чутливість видів до забруднення. За результатами культивування добру перспективу використання у ролі біоремедіаторів для покращення якості води мають *L. minor* (час подвоєння чисельності – до 5,2 діб), *S. polyrrhiza* (до 5,9 діб), *W. arrhiza* (до 7,6 діб). Різний потенціал розмноження і стійкість до забруднення в окремих видів дозволяє їх комбінувати у різних пропорціях, формуючи ефективне біоремедіаційне угруповання.

Література

1. Zirschky J., Reed S.C. The use of duckweed for waste-water treatment // Journal Water Pollution Control Federation. – 1988. – 60 (1). – P. 1253-1258.

2. El-Kheir W.A., Ismail G., El-Nour A., Tawfik T. and Hammad D. Assessment of the efficiency of duckweed (*Lemna gibba*) in wastewater treatment // International Journal of Agriculture and Biology. – 2007. – 5. – P. 681-689.

3. El-Shafai S.A., El-Gohary F.A., Nasr F.A., Van Der Steen, et. al. Nutrient recovery from domestic wastewater using a UASB-duckweed ponds system // Bioresour. Technol. – 2007. – 98. – P. 798-807.

4. Xu J., Shen G. Growing duckweed in swine wastewater for nutrient recovery and biomass production // Bioresour. Technol. – 2011. – 102. – P. 848-853.

5. Cheng J., Bergmann B. A., Classen J. J., Stomp A. M., et. al. Nutrient recovery from swine lagoon water by *Spirodela punctata* // BioresourceTechnology. – 2002. – Vol. 81. – P. 81-85.

6. Bayrakci A. G., Kocar G. Second generation bioethanol production from water hyacinth and duckweed in Izmir // A case study Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Vol. 30. – P. 306-316.

7. Cui W., Cheng J. J. Growing duckweed for biofuel production: A review // Plant Biology. – 2015. – Vol. 17. – Suppl. 1. – P. 16-23.

8. Fasakin E.A., Balogun A.M. and Fasuru B.E. Use of duckweed, *Spirodela polyrrhiza* L. Schleiden, as a protein feedstuffs in practical diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* L. // Aquaculture Research. – 1999. – 30. – P. 313-318.

9. Hassan M. S. and Edwards P. Evaluation of duckweed (*Lemna perpusilla* and *Spirodela polyrrhiza*) as feed for nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) // Aquaculture. – 1992. – Vol. 104. – Issue 3-4. – P. 315-326.

10. Bregnballe J. A. Guide to Recirculation Aquaculture An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. FAO and EUROFISH. – 2015. – 97 p.

11. Гроховська Ю. Р. Культивування ряскових в умовах забруднення води / Ю. Р. Гроховська // Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції», 27 жовтня 2016 року. – Житомир : ЖДТУ, 2016. – С. 54.

12. Руководство по методам гидробиологического анализа вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова. – Л. : Гидрометеоиздат, 1983. – 236 с.

References

1. Zirschky J., Reed S.C. / The use of duckweed for waste-water treatment // Journal Water Pollution Control Federation. – 1988. – 60 (1). – P. 1253-1258.

2. El-Kheir W.A., Ismail, G., El-Nour, A., Tawfik, T. and Hammad, D. / Assessment of the efficiency of duckweed (*Lemna gibba*) in wastewater treatment // International Journal of Agriculture and Biology. – 2007. – 5. – P. 681-689.

3. El-Shafai S.A., El-Gohary F.A., Nasr F.A., Van Der Steen, et. al. / Nutrient recovery from domestic wastewater using a UASB-duckweed ponds system // Bioresour. Technol. – 2007. – 98. P. 798-807.

4. Xu J., Shen G. / Growing duckweed in swine wastewater for nutrient recovery and biomass production // Bioresour. Technol. – 2011. – 102. – P. 848-853.

5. Cheng J., Bergmann B. A., Classen J. J., Stomp A. M., et. al. / Nutrient recovery from swine lagoon water by *Spirodela punctata* // BioresourceTechnology. – 2002. – Vol. 81. – P. 81-85.

6. Bayrakci A. G., Kocar G. /Second generation bioethanol production from water hyacinth and duckweed in Izmir // A case study Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Vol. 30. – P. 306-316.

7. Cui W., Cheng J. J. / Growing duckweed for biofuel production: A review // Plant Biology. – 2015. – Vol. 17. – Suppl. 1. – P. 16-23.

8. Fasakin E.A., Balogun A.M. and Fasuru, B.E. / Use of duckweed, *Spirodela polyrrhiza* L. Schleiden, as a protein feedstuffs in practical diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* L. // Aquaculture Research. – 1999. – 30. – P. 313-318.

9. Hassan M. S. and Edwards P. / Evaluation of duckweed (*Lemna perpusilla* and *Spirodela polyrrhiza*) as feed for nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) // Aquaculture. – 1992. – Vol. 104. – Issue 3-4. – P. 315-326.

10. Bregnballe J. A. Guide to Recirculation Aquaculture An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. FAO and EUROFISH. –2015. – 97 p.

11. Hrokhovska Yu. R. Kultyvuvannia riaskovykh v umovakh zabrudnennia vody / Yu. R. Hrokhovska // Tezy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Stalyi rozvytok krainy v ramkakh Yevropeiskoi intehratsii», 27 zhovtnia 2016 roku. – Zhytomyr: ZhDTU, 2016. – S. 54.

12. Rukovodstvo po metodam hydrobyolohycheskoho analyza vod y donnыkh otlozhenyi / pod red. V. A. Abakumova. – L. : Hydrometeoyzdat, 1983. – 236 s.

Рецензія/Peer review : 09.02.2018 р. Надрукована/Printed :27.03.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 004.522

А.А. МЯСИЩЕВ
Хмельницкий национальный университет

WEB-SERVER НА ARDUINO ДЛЯ ГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ С УДАЛЕННЫХ ДАТЧИКОВ

В работе на базе Arduino Mega и контроллера W5100 построен web-сервер для графического отображения данных удаленного клиента, полученных с датчиков температуры, давления, влажности. Программа сервера написана в среде разработки Arduino IDE. Откорректирована библиотека Ethernet для W5100, которая для Arduino IDE ver. 1.0.3, 1.0.5-r2 приводила к зависанию сервера. Показана возможность использования библиотеки Dygraphs для графической визуализации данных, полученных с помощью датчиков. Написаны скрипты для прорисовки графиков для спроектированного web-сервера. Проанализирована скорость передачи данных с web-сервера Arduino для различных сетевых контроллеров ENC28J60, W5100, W5500 для среды программирования Arduino IDE и библиотек UIPEthernet, Ethernet, Ethernet2. Показано, что с наименьшей скоростью данные передаются web-сервером с контроллером ENC28J60 - 3.3 КБайт/с, с наибольшей контроллером W5500 - 23.4 Кбайт/с. Отмечено, что эти сервера не поддерживают многопоточную работу. Поэтому они не могут быть использованы для создания миниатюрных универсальных web-серверов для обработки нескольких запросов одновременно. Рассмотренный в работе сервер может обслуживать только один запрос от одного удаленного клиента. Проанализированы скоростные параметры передачи данных для сервера на микроконтроллере ATmega328p (Arduino UNO) с контроллером сети ENC28J60. Программа сервера реализована на языке Си в среде программирования AVR Studio. Отмечена высокая скорость передачи данных - 140КБайт/с и возможность многопоточной работы. Установлено, что при одновременной передачи трех файлов разным клиентам суммарная скорость передачи достигает 120-130КБайт/с, а для каждого клиента 40-50КБайт/с. Показано, что использование такого сервера для решения задачи графического представления данных с датчиков затруднено вследствие сложности переноса программного обеспечения на другие микроконтроллеры и ограниченностью библиотеки для работы с картой microSD. Эксплуатация разработанного здесь сервера в течении тех лет показала высокую надежность его работы. Установлено, что для корректной работы разработанного web-сервера необходим микроконтроллер ATmega128 и выше с размером SRAM больше 4КБайт.

Ключевые слова: микроконтроллер, ENC28J60, W5100, W5500, Arduino Mega, Arduino UNO, ATmega328p, библиотека Dygraphs, AVR Studio.

A.A. MYASISCHEV
Khmelnytsky National University

WEB-SERVER ON ARDUINO FOR GRAPHIC REPRESENTATION OF INFORMATION FROM REMOTE SENSORS

In the work on the basis of Arduino Mega and the W5100 controller, a web server is built for graphical display of remote client data obtained from temperature, pressure, humidity sensors. The server program is written in the Arduino IDE development environment. The Ethernet library for the W5100 has been updated, which for Arduino IDE ver. 1.0.3, 1.0.5-r2 caused the server to hang. The possibility of using the Dygraphs library for graphical visualization of data obtained with sensors is shown. Written scripts for drawing graphics for the projected web server. The data transfer rate from the Arduino web server for various network controllers ENC28J60, W5100, W5500 for the Arduino IDE programming environment and UIPEthernet, Ethernet, Ethernet2 libraries was analysed. It is shown that with the lowest speed the data is transmitted by the web server with the ENC28J60 controller - 3.3Kb/s, with the largest controller W5500 - 23.4Kbytes/s. It is noted that these servers do not support multithreaded work. Therefore, they can not be used to create miniature universal web servers for processing multiple requests simultaneously. The server considered in the work can serve only one request from one remote client. The speed parameters of data transfer for the server on the ATmega328p microcontroller (Arduino UNO) with the network controller ENC28J60 are analysed. The server program is implemented in C language in the AVR Studio programming environment. A high data transfer rate of 140Kb/s and a possibility of multithreading are noted. It is established that with simultaneous transmission of three files to different clients, the total transmission speed reaches 120-130Kb/s, and for each client 40-50Kb/s. It is shown that the use of such a server to solve the problem of graphical representation of data from sensors is difficult due to the complexity of transferring software to other microcontrollers and the limited library for working with a microSD card. The operation of the server developed here for three years has shown high reliability of its operation. It is established that for the correct operation of the developed web server, a microcontroller ATmega128 and higher with a SRAM size greater than 4K is required.

Key words: microcontroller, ENC28J60, W5100, W5500, Arduino Mega, Arduino UNO, ATmega328p, Dygraphs library, AVR Studio.

Постановка задачи

Для управления удаленными объектами часто требуется не только получать детальную информацию с множества датчиков, но и отслеживать текущее состояние системы, динамику изменения состояния системы в течении заданного промежутка времени. Для решения такой задачи удобно использовать графическое представление величин, снимаемых с различных датчиков. Поскольку датчики находятся на удаленных объектах, наиболее дешевым решением является использование web-сервера на Arduino, к которому подключены необходимые датчики и который имеет доступ к сети Интернет. Со стороны клиента удобно использование браузера, который формирует графическое представление массива полученных данных с удаленного датчика. Для формирования графиков с сервера требуется пересылать достаточно большой объем информации. Т.е. кроме массива данных, накопленных с датчиков, пересылается программное обеспечение для браузера, которое позволяет браузеру формировать графики. Это требует, чтобы сервер Ардуино мог пересылать через Интернет не один пакет данных, а множество с приемлемой

скоростью. Например, для формирования месячного графика температуры с интервалом 5 минут необходимо передать браузеру примерно массив данных размером 200КБайт. Программа для формирования графика имеет размер примерно 125 Ббайт, которая должна быть передана с массивом данных. Таким образом для построения одного месячного графика web-серверу Ардуино требуется передать примерно 325 КБайт информации.

Изложение основного материала работы

Предположим, что канал Интернет имеет пропускную способность 4 Мбит/с – 500 КБайт/с (например, самая низкая скорость подключенного к телефонной линии цифрового модема). Рассмотрим скорость передачи данных web-серверами Ардуино, построенные на наиболее распространенных и доступных сетевых контроллерах и библиотеках к ним.

На рис. 1 представлены фото контроллеров Ethernet с микросхемами: ENC28J60, W5100, W5500.

Рис. 1. Контроллеры Ethernet ENC28J60, W5100, W5500

На рисунке 2 представлены стенды исследуемых web-серверов Arduino Mega с установленными, показанными выше, контроллерами сети.

Рис. 2. Web-сервера Arduino Mega с сетевыми контроллерами ENC28J60, W5100, W5500

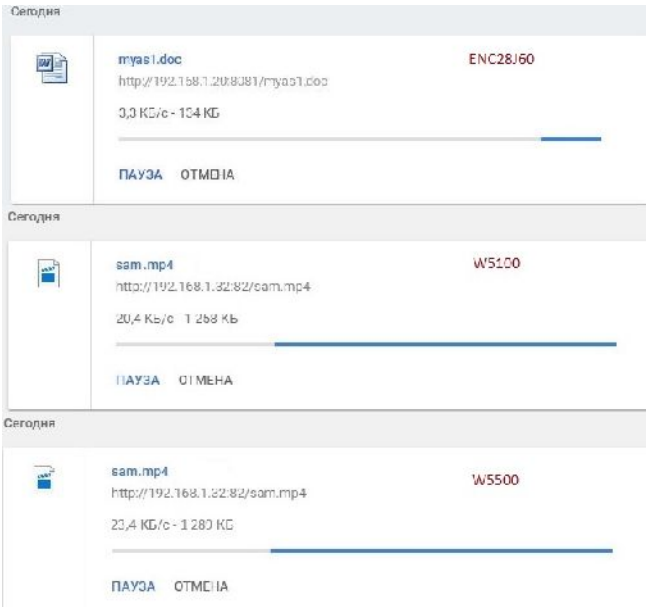


Рис. 3. Скоростные диаграммы работы серверов для разных контроллеров сети

Для определения скоростей передачи данных использовалась программа универсального web-сервера, представленная в источнике [1]. Эта программа по запросу браузера считывает html документы с

карты microSD и передает их клиенту. Причем сервер корректно работает как с текстовыми документами, так и с изображениями и исполняемыми файлами. На рис. 3 показаны скоростные диаграммы работы серверов. Для работы с сетевыми контроллерами в среде Arduino IDE использовались популярные библиотеки UIPEthernet (ENC28J60), Ethernet (W5100) и Ethernet2 (W5500).

Из рис. 3 видно, что максимальная скорость передачи данных 23.4Кбайт/с соответствует контроллеру W5500, минимальная 3.3 Кбайт/с - контроллеру ENC28J60. Сервер Arduino с контроллером W5500 на передачу данных для формирования месячного графика потратит 325/23.4 = 13.9 секунд. Недостатком серверов с указанными библиотеками является то, что они работают только с одним потоком данных. Т.е. одновременно копировать с них два файла (например, текст и рисунок) не получиться. Второй файл будет ожидать очереди, пока первый полностью не будет скопирован. Также опыт показал, что библиотека Ethernet для W5100, поставляемая с Arduino IDE ver. 1.0.5-r2 работает некорректно, сервер зависает, поэтому в работе ниже будет дана корректировка этой библиотеки. В последних версиях Arduino IDE (например, ver. 1.8.6.) ошибка исправлена и сервер работает устойчиво, но также не поддерживает многопоточной работы, а скорость передачи данных несколько ниже, чем в исправленной библиотеки Ethernet.

Рассмотрим еще один проект web-сервера на Arduino. Он реализован в среде программирования AVR Studio на языке C. Здесь используется микроконтроллер ATmega328p (Arduino UNO, Arduino Nano) и контроллер сети ENC28J60. Технология его работы и программное обеспечение подробно описаны в работе [2]. На рис. 4 показана фотография воспроизведенного из источника [2] сервера, который использует контроллер Arduino UNO.

Рис. 4. Web-сервер на базе Arduino UNO и ENC28J60

На рис. 5 показаны скоростные диаграммы работы этого сервера. Видно, что он допускает многопоточную обработку, а скорость одного потока достигает 140 Кбайт/с. Причем, максимальное количество потоков устанавливается программным путем. Поэтому этот сервер является наиболее подходящим для решения задачи графического представления массива данных, накопленного на карте microSD. Может также быть использован в качестве универсального миниатюрного web-сервера для пересылки html документов с карты microSD и управления оборудованием.

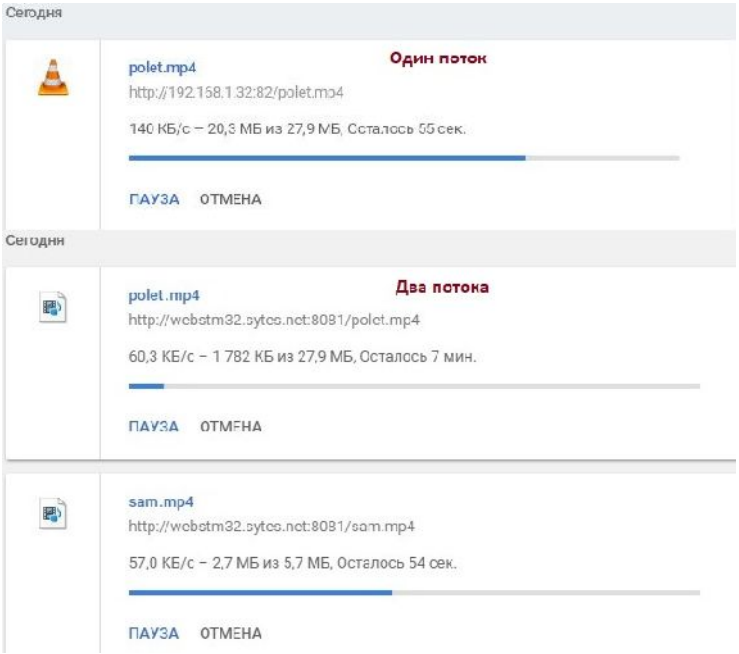


Рис. 5. Скоростные диаграммы работы многопоточного сервера Arduino UNO

В данной работе для построения сервера для графического представления данных будут

использоваться Arduino Mega с контроллером ATmega2560, контроллер сети W5100, среда разработки Arduino IDE ver. 1.0.3, 1.0.5-r2 с модернизированной библиотекой Ethernet для W5100. Такой сервер позволит формировать недельные графики с временем ожидания примерно 15–20 секунд. Более предпочтительным является сервер, представленный на рисунке 4, однако программирование его для задач с дополнительными серверными функциями является более сложно задачей, чем создание сервера на основе библиотек, включенных в состав среды программирования Arduino IDE. Дополнительно к этому сервер на рисунке 4 написан под конкретный микроконтроллер и переход к другой модели требует изменения кода, а библиотека для работы с картами microSD поддерживает только формат карт SD (до 2Гбайт), которые в настоящее время не выпускаются. Например, microSD карты формата SDHC, имеющие емкость 8 и более Гбайт, не поддерживаются.

Использование сервера с контроллером сети W5100 связана с тем, что используется относительно простая и отработанная универсальная среда разработки Arduino IDE, встроенная библиотека для работы с картами microSD (поддерживает формат SDHC), откорректированная устойчиво работающая библиотека Ethernet, относительно небольшой объем пересылаемых данных. В случае необходимости пересылки большого объема информации целесообразно использовать сервер, представленный на рисунке 4 и описанный в работе [2].

На рисунке 6 представлен экспериментальный стенд работающего сервера, который получает данные с датчиков температуры DS18B20, давления и температуры MS5611, влажности и температуры DHT11, записывает данные на карту microSD каждые 300 сек. и пересылает все записанные данные при запросе конкретного массива данных браузеру клиента вместе с программой dygraph (java-скрипт), которая запускается браузером и формирует график.

Рис. 6. Экспериментальный стенд web-сервера для формирования графиков

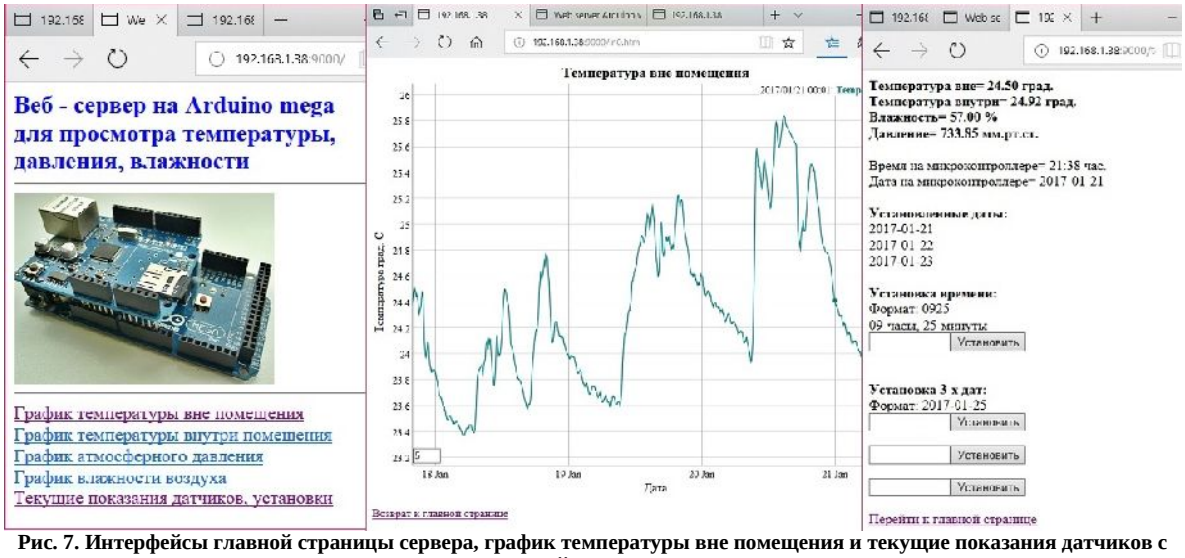


Рис. 7. Интерфейсы главной страницы сервера, график температуры вне помещения и текущие показания датчиков с установкой времени и даты

Рассмотренный сервер использует библиотеку dygraph [3], и формирует графики температуры вне помещения (DS18B20), внутри помещения (MS5611), атмосферного давления (MS5611) и влажности воздуха (DHT11). Web-server позволяет формировать графики в течении 3-х суток. Для этого существует страничка "текущие показания датчиков, настройки" в которой устанавливается время и 3-и последовательные даты, для которых требуются графики. После 3-х суток в файлы данных информация с датчиков заноситься не будет. Так как данные с датчиков добавляются в файлы, то после перегрузки сервера

можно внести следующие последовательные 3-и даты. Таким образом на графиках будет отображено еще дополнительно трое суток. Для построения новых графиков необходимо карту microSD переставить на компьютер и удалить данные с файлов datat.txt, datata.txt, datap.txt, datah.txt, содержимое которых будет рассмотрено ниже. На рисунке 7 представлены интерфейсы главной страницы сервера, график температуры вне помещения и текущие показания датчиков с установкой времени и даты.

Рассмотрим принцип работы сервера, выполняющего визуализацию графиков. При запросе клиента по адресу сервера(http://192.168.1.38:9000), сервер обращается к microSD карте и считывает файл index.htm, который пересылается браузеру. При переходе по ссылке, например http://192.168.1.38:9000/in0.htm, сервер считывает файл in0.htm с microSD и пересылает этот html документ браузеру, который его исполняет. Исключение составляет переход по ссылке http://192.168.1.38:9000/temp. В этом случае открывается страничка, которая представляет текущие показания датчиков с установкой времени и даты (рис. 7). Данные с microSD для этой ссылки не считываются.

Dygraphs – это библиотека, подключаемая к любой программе (скрипту), написанной на языке JavaScript. Таким образом HTML-документ превращается в инструмент графической визуализации. Для этого необходимо подключить библиотеку к скрипту и создать объект Dygraph в соответствии с правилами языка. Каждый такой объект в общем случае представляет собой диаграмму, обладающую соответствующими признаками – легендой, наименованиями осей и т.д. Скрипт с библиотекой, которые находятся на браузере, запрашивают набор данных в виде файла в формате CSV с сервера при помощи запроса XHR. Обозначение параметров на графике выбирается со скрипта. Если прорисовывается несколько кривых на графике, то цвет линий выбирается библиотекой автоматически так, чтобы визуально кривые отличались друг от друга. Обозначения по оси X будут меняться при масштабировании, например, если по умолчанию по оси аргументов идут месяцы года, то при увеличении диаграммы будут появляться сначала недели месяца, а затем дни и потом часы. Для правильного функционирования библиотеки Dygraphs на карте microSD сервера должны присутствовать следующие файлы:

1. index.htm

```
<HTML> <HEAD>
 <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=windows-1251">
 <TITLE>Web server Arduino w5100</TITLE>
</HEAD> <BODY>
<B><FONT color=blue size="5">Веб - сервер на Arduino mega<br> для просмотра температуры,<br>
давления, влажности</FONT></B>
<hr> <a href="web_gr.jpg"><img src="web3.JPG"/></a> <hr>
<FONT  size="4"><A href="in0.htm">График температуры вне помещения</A></FONT>
<br><FONT  size="4"><A href="in1.htm">График температуры внутри помещения</A></FONT>
<br><FONT  size="4"><A href="in2.htm">График атмосферного давления</A></FONT>
<br><FONT  size="4"><A href="in3.htm">График влажности воздуха</A></FONT>
<br><FONT  size="4"><A href="temp">Текущие показания датчиков, установки</A></FONT>
</body> </html>
```

2. in0.htm

```
<html> <head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=windows-1251">
<script type="text/javascript"
  src="dygm.js"></script>
<link rel="stylesheet" href="dygraph.css">
</head> <body>
<div id="graphdiv2"
  style="width:800px; height:600px;"></div>
<script type="text/javascript">
  g2 = new Dygraph(   document.getElementById("graphdiv2"),
    "DATAT.TXT", // path to CSV file  {
title: ’Температура вне помещения’,
xlabel: ’Дата’,
ylabel: ’Температура град. С’,
showRoller: true,
rollPeriod: 5,
//color: "#0000ff",
labels: [ "Date", "Temp" ],
strokeWidth: 1.5 }  ); </script>
<br> <A href="/">Возврат к главной странице</A>
</body> </html>
```

3. in1.htm – скрипт для формирования графика температуры внутри помещения, аналогичный in0.htm

4. in2.htm – скрипт для формирования графика атмосферного давления, аналогичный in0.htm

5. in3.htm – скрипт для формирования графика относительной влажности воздуха, аналогичный in0.htm

6. dygraph.min.js – файл библиотеки dygraphs (переименован в dygm.js, так как имя файла должно быть не более 8 символов, расширение – не более 3-х символов в файловой системе FAT)

7. dygraph.css – файл библиотеки dygraphs

8. Файлы данных показаний датчиков, представленных в табл. 1. Эти файлы при первом включении сервера создаются автоматически. В них могут дописываться данные при повторном включении сервера, поэтому график будет продолжаться. Например, если сервер возобновит работу через 10 дней, то эти дни будут отображены графиком в виде прямой линии, соединяющей конец предыдущей кривой с началом следующей.

При включении сервера и последующей его работе каждые 5 минут в файлы datat.txt,

datata.txt, datap.txt, datah.txt записываются построчно данные, как представлено в табл. 1.

Таблица 1

Данные datat.txt, datata.txt, datap.txt, datah.txt

DATAT.TXT	DATATA.TXT	DATAP.TXT	DATAH.TXT
2017-01-17 20: 4, 24.56	2017-01-17 20: 4, 24.92	2017-01-17 20: 5, 722.4	2017-01-17 20: 5, 40
2017-01-17 20: 9, 24.56	2017-01-17 20: 9, 24.89	2017-01-17 20: 9, 722.4	2017-01-17 20:10, 40
2017-01-17 20:14, 24.44	2017-01-17 20:14, 24.84	2017-01-17 20:14, 722.3	2017-01-17 20:15, 40
2017-01-17 20:19, 24.50	2017-01-17 20:19, 24.87	2017-01-17 20:19, 722.3	2017-01-17 20:20, 41
2017-01-17 20:24, 24.44	2017-01-17 20:24, 24.86	2017-01-17 20:24, 722.3	2017-01-17 20:25, 41
2017-01-17 20:29, 24.44	2017-01-17 20:29, 24.82	2017-01-17 20:29, 722.3	2017-01-17 20:30, 41
...	...	...	...

В эти файлы пишутся дата вдоль оси X, температура вне помещения(datat.txt), температура внутри помещения (datata.txt), атмосферное давление в мм. рт. ст.(datap.txt), относительная влажность в % (datah.txt) по оси Y.

Программа сервера с подключенным к нему LCD индикатором для отображения текущего состояния датчиков, представлена в источнике [4].

Программа работает следующим образом.

1. Каждую секунде идет обращение к функции прерывания ISR (TIMER5_COMPA_vect), реализующую работу часов. Она вычисляет минуты, часы, дни и рассчитывает дополнительные параметры, которые позволяют корректно отрабатывать некоторые временные фрагменты программы.

2. В цикле loop() выполняются следующие действия:

2.1. Выполняется запись данных на карту microSD. Например для датчика температуры вне помещения запись на microSD выполняется следующими операторами:

```
if( time==299 && endn==0 && endgraf==0 ) // При совпадении времени пишем в файл каждые 300 сек. и
так до достижении 24 часов  3-го дня
 { endn=1;  // Чтобы была только 1 запись при time=299
    myFile1 = SD.open("datat.txt", FILE_WRITE);
    if (myFile1) {   sensors.requestTemperatures(); cel=sensors.getTempCByIndex(0);
      dtostrf(cel,6,2,celbuf);  dtostrf(ho,2,0,hobuf);  dtostrf(mi,2,0,mibuf);
        if(day==0) myFile1.print(fd0);  else if(day==1) myFile1.print(fd1);
         else if(day==2) myFile1.print(fd2);  myFile1.print(" ");
          myFile1.print(hobuf); myFile1.print(":"); myFile1.print(mibuf);
          myFile1.print(","); myFile1.println(celbuf);
      myFile1.close();   } ...  }
```

2.2. Открывается сетевое соединение (socket) и прослушивается. Если соединение установлено (ESTABLISHMENT), определяется длина поля данных пакета TCP. Если длина равна нулю и так 25 раз подряд, срочно принудительно на сервере закрывается соединение, иначе контроллер W5100 "зависнет" (вероятно аппаратная ошибка). После этого опять открывается соединение и так до тех пор, пока длина поля данных не будет больше нуля. Далее идет считывание заголовка, посылаемого браузером до достижения пустой строки, которая определяет конец заголовка при запросе GET. Если первой строкой заголовка является строка

GET / HTTP/1.1

то данные считываются с карты microSD с файла index.htm и пересылаются браузеру в виде html документа.

Если первой строкой являются строки

```
GET /temp?c= HTTP/1.1,  GET /temp?d= HTTP/1.1
то выполняется распознавание времени и 1-й даты при их вводе в форму следующими операторами:
     if(strstr(clientline, "GET /temp?c=") !=0)  {   // Распознаем время
    fh[0]=clientline[12]; fh[1]=clientline[13]; fh[2]=0;
    fm[0]=clientline[14]; fm[1]=clientline[15]; fm[2]=0;   ho=atoi(fh); mi=atoi(fm);
  }
       if(strstr(clientline, "GET /temp?d=") !=0)  {   // Распознаем 1-ю дату
    fd0[0]=clientline[12]; fd0[1]=clientline[13]; fd0[2]=clientline[14];fd0[3]=clientline[15];
    fd0[4]=clientline[16]; fd0[5]=clientline[17]; fd0[6]=clientline[18];fd0[7]=clientline[19];
    fd0[8]=clientline[20]; fd0[9]=clientline[21];fd0[10]=0;   }
```

Если первой строкой является строка

GET /temp HTTP/1.1 то на в окне браузера распечатываются текущие показания датчиков, формы ввода времени и даты (рис. 7). Программа содержит также функцию meter(), которая распечатывает на экране LCD сервера текущие показания датчиков, обновляемые каждые 18 секунд.

Для предотвращения "зависания" сервера стандартная библиотека Ethernet в Arduino IDE ver. 1.0.3, 1.0.5-r2 была откорректирована. В источнике [5] подробно рассматривается содержимое измененных файлов:

socket.cpp, *EthernetClient.cpp*, *EthernetClient.h*. Внесены изменение в функцию *void EthernetClient::stop() - (client.stop())* для файла *EthernetClient.c*.

Выводы

1. Проанализирована скорость передачи с web-сервера Arduino для различных сетевых контроллеров ENC28J60, W5100, W5500 для среды программирования Arduino IDE [6] и библиотек UIPEthernet, Ethernet, Ethernet2. С наименьшей скоростью данные передаются сервером с контроллером ENC28J60 - 3.3 КБайт/с, с наибольшей контроллером W5500 - 23.4 Кбайт/с. Отмечено, что эти сервера не

поддерживают многопоточную работу.

2. Проанализированы скоростные параметры передачи данных для сервера на микроконтроллере ATmega328p (Arduino UNO) с контроллером сети ENC28J60. Программа сервера реализована на языке Си в среде программирования AVR Studio [2]. Отмечена высокая скорость передачи данных – 140 КБайт/с и возможность многопоточной работы.

3. Показана возможность использования библиотеки Dygraphs [3] для графической визуализации данных, полученных с помощью датчиков. Написаны скрипты для прорисовки графиков для спроектированного сервера.

4. На базе Arduino Mega и контроллере W5100 построен web-сервер для графического отображения данных удаленного клиента, полученных с датчиков температуры, давления, влажности. Программа сервера написана в среде разработки Arduino IDE на языке Wiring (C++).

5. Откорректирована библиотека Ethernet для W5100, которая для Arduino IDE ver. 1.0.3, 1.0.5-r2 приводила к зависанию сервера.

Литература

1. Мясищев А.А. Универсальный web-сервер на Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://webstm32.sytes.net/web_1.htm, 2013.
2. Подключение микроконтроллера к локальной сети [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://we.easyelectronics.ru/electro-and-pc/podklyuchenie-mikrokontrollera-k-lokalnoy-seti.html, 2011.
3. Dan Vanderkam. Dygraphs library [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://dygraphs.com, 2017.
4. Мясищев А.А. Web-server на Arduino для представления графиков температуры, давления, влажности [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://sites.google.com/site/webstm32/web_graph, 2018.
5. Мясищев А.А. Управление через Интернет голосовыми командами Web-сервером на Arduino Mega и контроллере W5100 с файлами на SD [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://sites.google.com/site/webstm32/web_server_speech, 2015.
6. Arduino. Официальный сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.arduino.cc/, 2018.
7. Филлипова Е. Инструменты визуализации данных: Dygraphs [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://datareview.info/article/instrumentyi-vizualizatsii-dannyih-dygraphs, 2014.
8. Мясищев А.А. Создание надежного http-сервера для удаленного управления по TCP/IP сети на основе ATmega1280 и Wiznet W5100 / А.А. Мясищев // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К. : ВІКНУ, 2014. – Вип. 46. – С. 59–70.
9. ENC28J60 Stand-Alone Ethernet Controller with SPI Interface [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39662e.pdf, 2012.
10. W5100 Datasheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.hobbytronics.co.uk/datasheets/W5100_Datasheet_v1_1_6.pdf, 2008.
11. W5500 Datasheet Version 1.0.7 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://wizwiki.net/wiki/lib/exe/fetch.php?media=products:w5500:w5500_ds_v108e.pdf, 2013.
12. Web Server [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.arduino.cc/en/Tutorial/WebServer, 2015.
13. Arduino SD Card Web Server [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://startingelectronics.org/tutorials/arduino/ethernet-shield-web-server-tutorial/SD-card-web-server/, 2013.

References

1. Myasishchev A.A. Universal'nyj web - server na Arduino. [Electronic resource]. - Mode of access: http://webstm32.sytes.net/web_1.htm, 2013.
2. Podklyuchenie mikrokontrollera k lokal'noj seti. [Electronic resource]. - Mode of access: http://we.easyelectronics.ru/electro-and-pc/podklyuchenie-mikrokontrollera-k-lokalnoy-seti.html, 2011.
3. Dan Vanderkam. Dygraphs library. [Electronic resource]. - Mode of access: http://dygraphs.com, 2017.
4. Myasishchev A.A. Web-server na Arduino dlya predstavleniya grafikov temperatury, davleniya, vlazhnosti. [Electronic resource]. - Mode of access: https://sites.google.com/site/webstm32/web_graph, 2018.
5. Myasishchev A.A. Upravlenie cherez Internet golosovymi komandami Web - serverom na Arduino Mega i kontrollere W5100 c fajlami na SD. [Electronic resource]. - Mode of access: https://sites.google.com/site/webstm32/web_server_speech, 2015.
6. Arduino. Oficial'nyj sajt. [Electronic resource]. - Mode of access: https://www.arduino.cc/, 2018.
7. Fillipova E. Instrumenty vizualizacii dannyh: Dygraphs. [Electronic resource]. - Mode of access: http://datareview.info/article/instrumentyi-vizualizatsii-dannyih-dygraphs, 2014.
8. Myasishchev A.A. Sozdanie nadezhnogo http-servera dlya udalennogo upravleniya po TCP/IP seti na osnove ATmega1280 i Wiznet W5100 // Zbirnik naukovih prac' Vijs'kovogo institutu Kiïvs'kogo nacional'nogo universitetu imeni Tarasa SHevchenka. K.VIKNU, 2014. Vip. 46. S. 59 - 70.
9. ENC28J60 Stand-Alone Ethernet Controller with SPI Interface. [Electronic resource]. - Mode of access: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39662e.pdf, 2012.
10. W5100 Datasheet. [Electronic resource]. - Mode of access: http://www.hobbytronics.co.uk/datasheets/W5100_Datasheet_v1_1_6.pdf, 2008.
11. W5500 Datasheet Version 1.0.7. [Electronic resource]. - Mode of access: http://wizwiki.net/wiki/lib/exe/fetch.php?media=products:w5500:w5500_ds_v108e.pdf, 2013.
12. Web Server. [Electronic resource]. - Mode of access: https://www.arduino.cc/en/Tutorial/WebServer, 2015.
13. Arduino SD Card Web Server. [Electronic resource]. - Mode of access: https://startingelectronics.org/tutorials/arduino/ethernet-shield-web-server-tutorial/SD-card-web-server/, 2013.

Отримана/Received : 27.2.2018 р. Надрукована/Printed :26.3.2018 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією

УДК 004.491.42

О.С. САВЕНКО
Хмельницький національний університет

МОДЕЛЬ ТА АРХІТЕКТУРА РОЗПОДІЛЕНОЇ БАГАТОРІВНЕВОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ЛОКАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

В роботі розроблено модель та архітектуру розподіленої багаторівневої систем виявлення шкідливого програмного забезпечення в локальних комп'ютерних мережах, побудовану на основі принципів децентралізації та самоорганізації. Розподілена багаторівнева система відноситься до реагуючих систем і постійно здійснюватиме моніторинг запущених процесів та виконуваних програм в комп'ютерних системах мережі. Розроблена системи здійснюватиме перевірку наявного програмного забезпечення та запущених процесів в комп'ютерних системах локальної мережі на можливість віднесення до шкідливого програмного забезпечення.

Ключові слова: модель, архітектура, структура Кріпке, шкідливе програмне забезпечення, поведінка, розподілена система, принцип самоорганізації, локальна комп'ютерна мережа.

O.S. SAVENKO
Khmelnytskyi National University

MODEL AND ARCHITECTURE OF THE DISTRIBUTED MULTILEVEL SYSTEM OF DETECTION MALWARE IN THE LOCAL COMPUTER NETWORKS

In the work the model and architecture of distributed multilevel detection systems of malicious software in local computer networks, based on the principles of decentralization and self-organization, has been developed. The basis of the constructed model of distributed multi-level systems is its structural parts, which are represented by program modules, which can be in different states. The transition between the classes of program modules is based on a defined set of transitions. Interaction and communication between software modules is based on their presence in certain states during operation. Distributed multi-level systems is a responsive system that will monitor selected events. Each program module contains a resident mechanism, the motive mechanisms for the transition between states, the transitions between which are given subsets of transitions, the data for which will be formed using artificial intelligence technologies. The developed system will verify the existing software and running processes in the computer systems of the local network to the ability to refer to malicious software. The principles and models of systems development are important for the theory and practice of creating effective systems for detecting malicious software in local computer networks built on the basis of decentralization and self-organization principles. The designed architecture of the distributed multilevel system allows it to be filled with various functions of detecting malicious software in local computer networks. The developed model of the architecture of the software modules of distributed multilevel systems is based on the principles of autonomy and multilevel. It allows you to increase the number of levels of the system without changing its architecture. The basis of the architecture of distributed multi-level systems are software modules with the same architecture, but each of them can independently take decisions based on various data collected from different computer systems of the network.

Keywords: model, architecture, structure Kripke, malware, behaviour, distributed system, self-organization principle, local computer network.

Вступ. Постановка задачі. Відомі антивірусні засоби не завжди підтверджують задекларований рівень достовірності виявлення нового шкідливого програмного забезпечення. На противагу їм на сьогоднішній день існує значна кількість некомерційних засобів, заснованих на нових методах та підходах до виявлення ШПЗ, що відрізняються ознаками, які використовуються для ідентифікації ШПЗ, способу отримання даних, методами аналізу. Реалізація нових принципів, моделей та методів виявлення конкретних типів шкідливого програмного забезпечення (ШПЗ) шляхом створення відповідних інформаційних систем потребує подальшого розвитку, але досягнення підвищення достовірності виявлення нового та відомо ШПЗ, в якому застосовуються комбіновані технології зловмисного проникнення та поширення, можливе також за умови комбінованого використання нових та відомих методів виявлення. Для того, щоб ефективно застосовувати методи та засоби виявлення шкідливого програмного забезпечення необхідно розробити систему, яка б включала в себе достатню кількість реалізованих ефективних методів у вигляді відповідних підсистем, мала можливість до нарощування та враховувала б майбутні тенденції розвитку як антивірусних засобів, так і шкідливого програмного забезпечення.

Сучасне шкідливе програмне забезпечення представляє собою складні багатофункційні програмні системи та комплекси, які побудовані з використанням ефективних методів створення програмних засобів та методів поширення зловмисного коду. Для організації ефективної протидії таким засобам, необхідним є розробка теорії та практики створення систем виявлення ШПЗ, основа архітектури яких була б подібною до архітектури складного комплексу ШПЗ, але мала б більшу функційність. Важливим є здійснення побудови таких ефективних систем для їх використання в локальних комп'ютерних мережах, де уможливлюється встановлення таких систем на усіх комп'ютерних системах (КС) мережі, а не локально. Це при проведенні аналізу зібраних типових даних з різних КС підвищить достовірність виявлення.

Проблемою виступає те, що не розроблені інформаційні системи [1–5], які б увібрали в себе розроблені для певних типів шкідливого програмного забезпечення різні методи виявлення. І ці інформаційні антивірусні системи, будучи багатофункціональними, могли б дозволити наповнюватися новим функціоналом і стали б основою для розвитку конкурентного середовища на ринку антивірусних інформаційних систем. Ефективність таких систем виросла б при використанні їх в корпоративних

комп'ютерних мережах, де додатковою перевагою при виявленні шкідливого програмного забезпечення виступають відомості про програмно-апаратне забезпечення комп'ютерних систем мережі та обліку інформації про поведінку програмного забезпечення з різних комп'ютерів мережі.

Тому, з метою підвищення ефективності та достовірності виявлення нового ШПЗ, доцільним завданням є розробка багатофункційних систем виявлення, які базуватимуться на основі сучасних технологій створення складних програмних систем, а також подальший розвиток теорії і практики створення таких систем.

Основна частина. Виявлення шкідливого програмного забезпечення здійснюється за допомогою різноманітних засобів. Ефективність та достовірність виявлення суттєво залежать, зокрема, і від архітектури таких засобів, а також їх позиціонування та місця розміщення в комп'ютерних системах локальних мереж. Враховуючи, що процес виявлення ШПЗ проводитиметься в локальних мережах, то вибір моделі функціонування РБС повинен передбачати залучення інформації зі всіх комп'ютерних систем локальної мережі, тобто розміщення на всіх КС цієї системи. Це необхідно для підвищення ефективності і достовірності виявлення за рахунок врахування інформації про стан з інших КС для прийняття рішення на конкретній КС. Ці основні вимоги, що проектована система повинна бути розміщена в мережі на кожній КС, впливають на вибір моделі її архітектури. Також, важливим для таких систем є те, щоб центр прийняття рішень системи не представлявся та ідентифікувався однозначно, бо його виявлення призведе до атаки на нього для виведення всієї системи з робочого стану. Проектована система повинна бути побудована так, щоб розміщені на КС в мережі її частини ефективно спілкувалися між собою для обміну інформацією про стан КС з метою надання додаткової інформації для прийняття рішення. Розроблювана система виявлення ШПЗ повинна відповідним чином структуруватись, щоб мати можливість нарощуватись і її збільшення не повинно сповільнювати процес виявлення. Таким чином, сучасна проектована система виявлення ШПЗ в локальних мережах повинна володіти такими характеристиками: розподіленість в просторі в локальній мережі на всіх КС; формування єдиної системи всіма частинами, розміщеним в КС; децентралізованість структури для уникнення виведення системи з ладу за умови виявлення єдиного центру прийняття рішень чи управління системою; можливість прийняття рішення модулем, розміщеним в певній КС, за підтримки інших структурних частин системи; багаторівневість для чіткого відокремлення різних за призначенням функціональних частин і можливості нарощування; здатність до самоорганізованості при вирішенні завдань та за умови порушення цілісності системи, під час атак на інформаційно-комунікаційні ресурси мережі або ураженні системи ШПЗ; динамічне формування архітектури з наявних частин робочих КС мережі; адаптивність до середовищ КС мережі та специфіки задач, вирішуваних конкретними КС; можливість автоматизованої підтримки адміністратором мережі для налаштування роботи та отримання звітності; автономність системи у прийнятті рішень; відповідність політиці безпеки підприємства (організації). Відповідність системи заданим характеристикам впливає на її модель, яка стане основою архітектури системи і згідно характеристичних вимог до системи включатиме комбінацію моделей колективного інтелекту, багатоагентних систем, розподілених систем, децентралізованих систем, самоорганізованих та адаптивних систем. Врахування такої моделі підвищить надійність функціонування та живучість системи в локальній мережі.

Рис. 1. Узагальнена схема основних складових архітектури системи

Рис. 2. Схематичне представлення поширення ШПЗ та місце його дослідження в фрагменті глобальної мережі

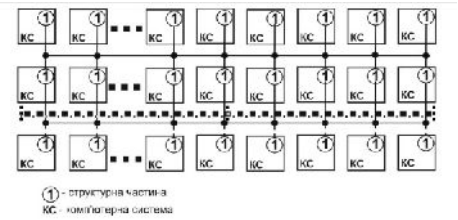


Рис. 3. Схема системи з врахуванням моделі розподіленої архітектури

Виділимо особливості кожної моделі та інтегруємо їх в модель розроблюваної системи. Архітектура розроблюваної системи представлена узагальненою схемою основних складових на рис. 1.

Враховуючи, що процес виявлення ШПЗ відбуватиметься в локальній мережі, тоді спочатку представимо (рис. 2) місце поширення і виявлення ШПЗ, яке в глобальній мережі поширюється постійно і неконтрольовано. А також, зобразимо модель, яка відображає таку характеристику архітектуру системи як розподіленість (рис. 3). Поетапно ця розподілена архітектура буде наповнюватись підсистемами, в яких реалізовуватимуться інші моделі, що входять до проектованої системи.

Введемо позначення для проектованої розподіленої багаторівневої

системи (РБС) і позначимо її символом А, тоді структурні частини системи – A_i, i=1,…,n, де n – кількість програмних модулів. Представлення системи через її структурні частини здійснимо так:

$$A = \{A_1, \ldots, A_n\} \quad (1)$$

Такий формалізований опис надалі бути використаний для оптимізації зв'язків та залежностей між елементами системи та підсистем. Елементи A_i однакові за структурою, але в процесі функціонування системи матимуть різне наповнення та можуть перебувати в різних станах.

РБС розподілена в просторі і згідно характеристичних вимог повинна бути децентралізованою, тобто система не повинна мати єдиного центру керування всіма її частинами та можливості прийняття рішень в залежності від зміни стану будь-якої КС мережі. В цьому контексті децентралізованість і самостійність прийняття рішень модулем системи розміщеним в певній КС не ототожнюються. В поняття децентралізованості проектованої системи закладемо функцію вищого рівня абстракції, завданням якої повинна бути здатність системи конкретної КС приймати рішення про початок її виконання (тобто активацію закладених функціоналів), здійснення переходу між визначеними рівнями на основі інформації отриманої з інших рівнів системи, прийняття рішення про комунікацію з іншими частинами всієї системи, отримання інформації від інших частин системи з різних КС та передача цієї інформації на відповідні рівні, завершення роботи. Для частини системи розміщеної в КС введемо поняття програмного модуля (ПМ) системи. Самостійність в прийнятті рішення програмним модулем системи включає такі можливості: прийняття рішення про стан загрози ШПЗ для КС на основі інтегрованої інформації з інших рівнів програмного модуля і передача цього значення на рівень децентралізації; передача на рівень децентралізації значення рівня безпеки; визначення кількості та залучення засобів відповідних рівнів програмного модуля для дослідження ШПЗ. Таким чином, рівень децентралізації відрізнятиметься від рівня прийняття рішень тим, що на його рівні приймаються рішення про загальну організацію функціонування програмного модуля в структурі всієї системи, а на рівні прийняття рішень – про безпосереднє виконання саме основних задач дослідження ШПЗ. На рис. 4 зображена взаємодія цих двох рівнів та їх основні функції-підсистеми.

Рис. 4. Основні функції рівнів децентралізації та прийняття рішень і схема їх взаємодії

Розглянемо детальніше блоки децентралізації та прийняття рішень і їх взаємодію. Початок роботи конкретного модуля розпочинається із запуску конкретної КС, на яку він встановлений, та безпосередньо запуску цього модуля. Спочатку запускається функція стартового підблоку, в якому вирішується питання про початок і послідовність виконання функцій інших блоків програмного модуля. Першим підблоком, на який передається вказівка про запуск, є підблок, який визначає стан загрози КС від ШПЗ при старті. Для цього він передає вказівку на запуск внутрішніх підблоків блоку прийняття рішень. Після отримання результатів від них, тобто встановлення рівня безпеки, він передає вказівку про запуск і значення рівня безпеки на підблок, який встановлює програмний модуль на відповідний рівень безпеки та запускає визначені для цього рівня функції, тобто визначає необхідний функціонал для роботи програмного модуля. Після цього він направляє вказівку для запуску модуля, який приймає рішення про зв'язок з іншими програмними модулями всієї системи. Якщо рівень безпеки програмного модуля показує, що КС перебуває в критичному стані безпеки, то рішення про комунікацію з іншими складовими системи буде негативним і при самому надкритичному рівні передається на підблок завершення роботи програмного модуля. Якщо ж рішення позитивне, тоді на наступному кроці формується пакет для розсилки всім іншим частинам системи і відправляється. Також, цим підблоком збирається та опрацьовується інформація отримана від інших частин системи. Узагальнена схема зв'язків підблоків блоків децентралізації та прийняття рішень представлені на рис. 5.

Рис. 5. Узагальнена схема взаємодії блоків децентралізації та прийняття рішень

Багаторівневість проектованої системи дозволить відділити процеси, які відноситимуться до функціонування системи в цілому, процеси функціонування програмного модуля і розділити з рівнями задачі по виявленню різних типів ШПЗ та мережних атак і необхідних утиліт для вирішення цих задач. Рівні децентралізації та прийняття рішень є базовими і в проектованій багаторівневій системі представлені на рис.6 у взаємодії з таких же рівнів інших програмних модулів РБС. Крім того, багаторівневість дозволить

проводити нарощування системи новим функціоналом, а також чітка відокремленість різних за задачами частин дозволить сумісне використання утиліт певних рівнів.

Функціонал, який відповідатиме за самоорганізованість програмного модуля РБС, розміщено окремим рівнем програмного модуля, який взаємодіятиме з модулем прийняття рішень. Крім того, певні рівні програмних модулів матимуть можливість здійснювати самонавчання та на його основі здійснюватиметься зміну стану безпеки. Самоорганізованість на рівні всієї РБС здійснюватиметься в підблоці блоку децентралізації і включатиме функціонування всієї системи та її переходу в різні стани в залежності від зовнішніх змін в КС та мережі. Властивість самоорганізованості РБС тісно пов'язана з адаптивністю і проявлятиметься в зміні структури її системи та рівня організації в процесі свого життєвого циклу в результаті накопичення досвіду, збереженої інформації в пам'яті. Накопичений досвід виражатиметься в зміні параметрів, важливих для мети системи, що змінюватиме спосіб функціонування системи, і виражатиме властивість самонавчання.

Рівень 1	Децентралізація
Рівень 2	Прийняття рішень
Рівень 3	...
...	...
Рівень n	...

Рис. 6. Схема багаторівневості РБС

Формування архітектури РБС в мережі здійснюватиметься на протязі життєвого циклу її використання та передбачатиме зберігання попередніх форматів для здійснення аналізу.

Частина рівнів програмних модулів РБС матиме властивості адаптивності для підвищення ефективності виконання поставлених задач виявлення ШПЗ. Адаптивність РБС проявлятиметься в автоматичній зміні алгоритмів свого функціонування і за потреби своєї структури з метою збереження або досягнення оптимального стану при зміні зовнішніх умов.

Інтерфейси системи поділено на такі: адміністративний, щоденний звіт, звіт за критичної ситуації, автономний міжмодульний.

Спроектована таким чином архітектура РБС матиме можливість наповнення різними функціоналами виявлення ШПЗ в локальних мережах і дозволить використовувати таку систему автономно. Дана архітектура системи є концептуальною, тому потребує деталізації рівнів програмних модулів.

Модель та архітектура програмних модулів РБС виявлення шкідливого програмного забезпечення. Проектування повнофункційної РБС потребує розробки її моделі функціонування в локальній комп'ютерній мережі в частині організації взаємодії між її програмними частинами, розміщеними в мережі, та спілкування між ними.

Розподілена багаторівнева система в локальній комп'ютерній мережі згідно її моделі представлена однаковими програмними модулями, які розміщені в кожній комп'ютерній системі. Тобто, не залежно від того скільки комп'ютерних систем в локальній мережі, кожна з них містить програмний модуль РБС. Якщо в процесі користування комп'ютерними системами виявиться, що не всі вони в мережі ввімкнені, тоді РБС складається з тих, які активні. Програмні модулі активних КС в локальній мережі формують безпосередньо РБС. Це дозволить навіть за наявності роботи двох комп'ютерних систем підтримувати виконання задач системи.

Кожен програмний модуль РБС містить на відповідних рівнях функціонал для виявлення певного типу шкідливого програмного забезпечення або атаки.

РБС містить в кожному програмному модулі рівень, який відповідає за спілкування між програмними модулями всієї системи, тобто забезпечує роботу каналів зв'язку. За допомогою цього рівня встановлюється зв'язок між програмними модулями системи в цілому. Важливим є ідентифікація одним конкретним програмним модулем решти програмних модулів для активації та роботи цілісної системи. Для цього при встановленні програмного на конкретну КС активується функціонал, що здійснює зчитування системної інформації про апаратно-програмне забезпечення КС, зберігає цю інформацію в своєму внутрішньому сховищі, формує на її основі ідентифікаційну ознаку цього конкретного модуля, зберігає її як ідентифікатор програмного модуля і використовує її в пакетах, які розсилатимуться на інші програмні модулі РБС. При встановленні всіх програмних модулів РБС в мережі здійснюють їх активацію з метою збору всіх ідентифікаційних ознак. Кожен окремий програмний модуль в системі після повного встановлення системи міститиме характеристики та ідентифікатори всіх програмних модулів системи. Використання такої ідентифікаційної інформації в якості окремого поля пакету дозволить однозначно ідентифікувати та розрізнювати різні КС в локальній мережі, але при цьому віддаленість КС не важлива. Врахування віддаленості відбувається на рівні підтвердження цілісності системи.

Враховуючи, що стани програмних модулів системи можуть змінюватись протягом часу їх використання, то в програмних модулях будуть накопичуватись статистичні данні роботи як за добу так і більших інтервалів часу. Ця статистична інформація є корисною для уточнення прийняття рішень, а також на певних етапах буде необхідним за певними правилами видаляти частину інформації з неї. Протягом робочого дня такий обмін інформацією між програмними модулями системи може бути багатократним. В зв'язку з цим необхідним буде також розробка підсистеми, яка оптимізуватиме накопичену інформацію.

Кількість рівнів програмного модуля та їх наповнення залежатимуть від завдань, які вирішуватимуться. Основними завданнями проектованої системи є проведення аналізу виконуваних файлів з метою виявлення зловмисного функціоналу і поведінки виконуваного в КС програмного забезпечення (запущених процесів) на наявність зловмисних дій. Обидві ці задачі об'єднує необхідність проведення аналізу поведінки програмного забезпечення, тобто здійснення виявлення через поведінку. Це дозволить

увібрати для розгляду і дослідження достатньо широку множину всього файлового ШПЗ, відділивши в її складовій зловмисну поведінку для аналізу. Тобто, проектована система включатиме засоби дослідження програмного забезпечення розміщеного в КС, яке перебуватиме в активному (виконуваному) стані або в зовнішній пам'яті, спільним елементом яких буде відслідковування і аналіз їх поведінки. В програмному забезпеченні досліджуватиметься наявність таких його можливостей: приховувати ознаки своєї присутності в комп'ютерній системі; володіти здатністю до самокопіювання, в тому числі створення модифікованих своїх копій; мати здатність до асоціювання себе з іншими програмами; мати здатність до переносу своїх фрагментів в інші області оперативної або зовнішньої пам'яті, в тому числі тих, що знаходяться на віддаленому комп'ютері; отримати несанкціонований доступ до компонентів або ресурсів КС; руйнувати або спотворювати код програм в оперативній пам'яті; спостерігати за процесами обробки інформації та принципами функціонування засобів захисту; зберігати фрагменти інформації з оперативної пам'яті в деякій області зовнішньої пам'яті; спотворювати, блокувати або підміняти виведений в зовнішню пам'ять або канал зв'язку інформаційний масив, що утворився в результаті роботи прикладних програм; спотворювати масиви даних, які знаходяться у зовнішній пам'яті; пригнічувати інформаційний обмін в комп'ютерних мережах, фальсифікувати інформацію в каналах зв'язку; нейтралізовувати роботу тестових програм та засобів захисту інформаційних ресурсів КС; постійно або тимчасово змінювати ступінь захищеності секретних даних; приводити в неробочий стан або руйнувати компоненти системи; створювати приховані канали передачі даних; ініціалізувати раніше впроваджене ШПЗ.

Підсистеми рівнів програмних модулів РБС, враховуючи перераховані функціональні можливості програмного забезпечення та вирішення проблеми їх виявлення через дослідження і аналіз поведінки, повинні мати такі складові: сигнатурний аналізатор; евристичний та поведінковий аналізатор; емулятор процесора; підсистема виявлення несанкціонованих змін з використанням контрольних кодів цілісності; підсистема моніторингу потенційно небезпечних дій; підсистема створення несправжніх об'єктів атаки в мережі; підсистема внесення невизначеності в роботу об'єктів та засобів захисту КС мережі; контроль ходу виконання програм; підсистема обліку роботи КС.

Узагальнена схема розподілу завдань в програмних модулях системи включатиме стани, в яких перебуватиме програмний модуль конкретної КС в процесі свого життєвого циклу, і представлена на рис.7 у вигляді графу та вершин співвіднесених до різних рівнів.

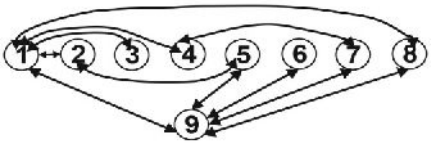


Рис. 7. Граф узагальнених станів програмного модуля системи:
1 – базовий стан, моніторинг КС, визначення переходу до станів 2, 3, 4, 8;
2 – перевірка виконуваних файлів, визначення переходу до станів 1, 5;
3 – перевірка запущених процесів та мережних активностей КС, визначення переходу до станів 1, 6;
4 – перевірка виконуваних файлів та запущених процесів, визначення переходу до станів 1, 7;
5 – перевірка виконуваних файлів з використанням інших програмних модулів, повернення на рівень 2;
6 – перевірка запущених процесів та мережних активностей і їх порівняння з іншими КС мережі, повернення на рівень 4;
7 – обробка виконуваних файлів та запущених процесів з використанням інших програмних модулів системи;
8 – обробка та оптимізація інформації з бази пакетів програмного модуля із залученням інформації з інших програмних модулів системи, повернення на рівень 1;
9 – забезпечення зв'язку з іншими програмними модулями системи

Модель РБС, що враховуватиме архітектурні складові і їх стани та зв'язки між ними, представимо:

$$M_A^s = S, G_A, \quad (2)$$

де S – множина станів системи, G_A – орієнтований граф узагальнених станів РБС, який зображено на рис. 8.

Кожен програмний модуль системи має однакову структуру і розділений на чотири рівні в залежності від функційного призначення та згрупованих в них завдань:

1. – рівень 1 включає моніторинг подій та визначення переходів до наступних рівнів, а також здійснює обробку інформації, що надходить від інших програмних модулів;

2. – рівень 2 включає перевірку виконуваних файлів, перевірку запущених процесів та мережних активностей без залучення інформації з інших програмних модулів системи;

3. – рівень 3 включає виконання завдань рівня 2 із залученням інформації з інших

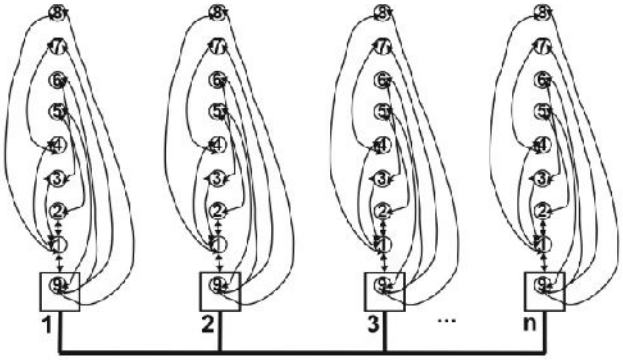


Рис. 8. Орієнтований граф зв'язків узагальнених станів програмного модуля системи

програмних модулів системи;

4. – рівень 4 здійснює обробку, оптимізацію та вилучення інформації з бази програмного модуля КС.

Рівні 1, 3 та 4 обов’язково спілкуються з іншими програмними модулями системи. Програмний модуль, як правило, перебуває в рівні 1, де здійснює моніторинг подій. Якщо відбуваються зміни в КС, тоді в залежності від результатів моніторингу на його рівні приймаються рішення про перехід до вершин 2, 3 або 4 тобто на рівень 2. На цьому рівні 2 досліджуються завдання з рівня 1 методами та засобами без залучення інших частин системи. Якщо результат дослідження виявиться негативним, тобто ШПЗ не знайдено, тоді встановлюється, що потрібна глибша перевірка і здійснюється перехід до рівня 3, де застосовано для визначення інші частини системи в мережі. Використання засобів цього рівня залучає розподілені в мережі програмні модулі та в результаті підвищуватиме ефективність виявлення ШПЗ. На четвертому рівні відбувається оптимізація інформації з бази програмного модуля із залученням інших частин системи, а також після отримання інформації зі всіх інших програмних модулів системи прийняття рішення про стан системи в цілому.

Таким чином, перший рівень містить засоби, які забезпечують автономність роботи програмного модуля системи. На третьому рівні досягається глибший аналіз досліджуваних об’єктів в порівнянні з другим рівнем, що підвищує ефективність системи. Четвертий рівень вирішує частину задач із самоорганізації системи, пов’язану з оптимізацією накопиченої за час роботи інформації.

Кожен рівень та відповідні йому узагальнені підсистеми в свою чергу теж представляються наборами підрівнів, яким закладено виконання певних функціоналів. Зображення взаємозв’язку підрівнів представлено на рис. 9 графом з вершинами, що відповідають призначенням підрівнів.

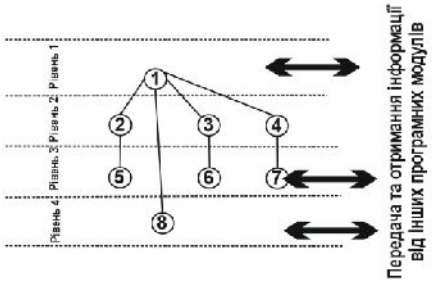


Рис. 9. Граф-схема взаємодії підрівнів програмних модулів системи

Представлення інформації про поточний стан програмних модулів РБС може бути представлений матрицями поточних станів, що дозволяє здійснювати аналіз системи в цілому та готувати рішення про перехід програмних модулів на інші рівні або призупинку роботи комп’ютерних систем в мережі з видачею відповідного звіту для адміністратора. Крім того, представлення інформації про програмні модулі деталізується до станів програмних модулів, що є більш інформативним для прийняття рішень.

Розроблена концептуальна модель архітектури програмних модулів РБС базується на принципах децентралізації та багаторівневості. Вона дозволяє здійснювати наповнення всієї системи різними функціоналами виявлення ШПЗ та побудована таким чином, що дозволяє збільшувати кількість рівнів системи без зміни її архітектури. Основою архітектури РБС виступають програмні модулі, які спроектовано однаковими архітектурами, але які дозволяють містити різні данні зібрані з КС. Для ефективної роботи РБС необхідним є розробка принципів взаємодії та узгодження роботи різних програмних модулів між собою та їх відповідних рівнях.

Модель РБС та принципи взаємодії програмних модулів різних КС на основі самоорганізації та багатоагентного підходу. Представлення розподіленої багаторівневої системи у формі ПМ, розміщених в КС локальної мережі, та врахування характеристики децентралізованості системи вимагає розробки такого методу взаємодії програмних модулів різних КС, який би базувався на таких принципах: спілкування програмних модулів між собою; виконання програмними модулями поставлених завдань без будь-якого впливу ззовні системи; самовідтворення РБС; програмні модулі повинні впливати на себе та інші програмні модулі; система та її частини повинна здійснювати самоконтроль; РБС повинна утворювати свої власні цілі.

Врахування при проектуванні РБС цих принципів дозволить створити розподілену децентралізовану систему, яка вирішуватиме поставлені завдання за рахунок наповненого функціоналу та створюватиме власні цілі для роботи. Розробка правильної організації взаємодії модулів системи впливатиме на ефективність виконання поставлених завдань та роботу системи в цілому.

Організація взаємодії програмних модулів системи в процесі спілкування вимагатиме розгляду та опису таких подій на різних етапах їх життєвого циклу:

1) запуск КС та відповідно його програмного модуля спричиняє необхідність виконання зчитування характеристик КС та порівняння їх з тими, що зберігаються в базі; формування пакету інформації з ідентифікатором про початок роботи програмного модуля;

2) відправка пакету інформації з ідентифікатором про початок роботи іншим програмним модулям системи;

3) якщо не всі КС увімкнені, тоді РБС буде формуватись виключно з тих, які вже працюють;

4) модель поведінки користувачів передбачає різний час початку роботи в локальній мережі, тому обов’язково буде КС, яка була увімкнена першою, активувала програмний модуль і з неї було розіслано пакет інформації, але жодна КС не увімкнена, тому відповіді від них отримано не буде; час відправки пакету фіксуватиме програмний модуль;

5) після ввімкнення другої та інших КС мережі, в них формуються пакети інформації про початок роботи програмних модулів системи і надсилаються за реєстром на інші КС мережі, в тому числі і на першу

ввімкнену КС, яка після отримання першого з них відправляє повторно свій пакет інформації про початок роботи; таким чином, вже не буде жодної першої ввімкненої КС, якій не відповів хоча б один програмний модуль іншої КС; обмін пакетів відбудеться усіх з усіма ввімкненими; якщо не всі КС за певний час будуть ввімкнені, а додадуться через тривалий час, тоді всі події по їх формуванні системи будуть ті ж, тобто розсилатимуться пакети інформації про початок роботи;

6) кожен програмний модуль РБС після сформування системи здійснює моніторинг подій своєї конкретної КС і при виникненні події, що переводить його в інший стан, який потребуватиме при виконанні завдання підтримки інших програмних модулів системи, розсилає пакет інформації з відповідним ідентифікатором, що видає завдання іншим програмним модулям, які після його виконання повертають йому результат роботи (час повернення результату, як правило є різним);

7) програмний модуль системи, перебуваючи на певному відповідному рівні, надсилає решті програмних модулів вказівку та інформацію про повне виконання завдання з відповідним ідентифікатором; кожен ПМ виконує перевірку та розсилає усім модулям системи результат; у випадку великої завантаженості КС, рівень якої встановлюється ПМ, тоді надсилається відповідне повідомлення та видане завдання очікує в черзі; сумарний результат оцінюється кожним ПМ та розсилається на інші ПМ; обробка такої статистичної інформації в різних ПМ здійснюється за єдиним алгоритмом та приймається рішення про реагування системи в цілому на отриманий результат, бо він буде на отриманий кожним програмним модулем;

8) завершення роботи КС і її вимкнення відбувається тільки після надсилання решті ПМ системи про вимкнення пакетом з відповідним ідентифікатором.

Важливим елементом аналізу спілкування програмних модулів РБС є побудова її часової моделі у вигляді відповідного графіку від старту та безпосередньо роботи програмних модулів і системи, яка демонструватиме залежність між програмними модулями і їх станами від часу функціонування. Параметри такого представлення зображено на рис. 10.

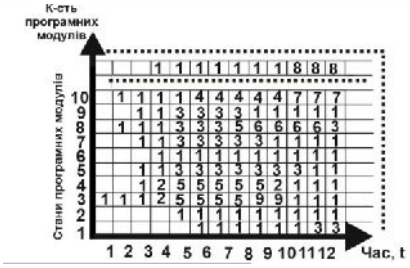


Рис. 1. Часова модель життєвого циклу РБС

Відображення станів ПМ вагами критичності в матриці дозволить проводити динамічну обробку подій, які впливатимуть на наступні стани РБС. Формування такої матриці відбуватиметься за потреби, зокрема у випадку дослідження мережної активності в локальній мережі.

З рис.10 видно, що часова модель поведінки РБС через моделі поведінки її ПМ розглядається не як лінійна послідовність множини обчислень, а як дерево можливих обчислень, тобто розгалужена часова модель зі зворотними зв'язками. Тому, представимо РБС моделлю на основі структури Кріпке:

$$M_{РБС} = S, S_0, R, F_{РБС}, \quad (3)$$

де S – скінченна множина станів РБС, S_0 – множина початкових станів (причому їх може бути декілька), R – множина переходів між станами, T_A – множина атомарних тверджень пов'язаних із станами і є істинними тільки в цих станах, $F_{РБС}$ – функція, що відображає кожен стан з множини S в підмножину атомів, які є істинними у відображуваних станах. Оскільки, проектована система є розподіленою, тоді множину станів системи представимо через підмножини станів, які відносяться до програмних модулів A_i, i=1,2,...,n, а саме: $S = \sum_{i=1}^{n} S_i$, тобто множини станів ПМ формуватимуть множину станів, в якій перебуватиме система. Аналогічно, множина початкових станів РБС $S_0 = \sum_{i=1}^{n} S_{0i}$, причому серед їх елементів не може бути однакових. З будь-якого стану $s \in S$ існує мінімум один перехід до іншого стану, тобто справедливим є відношення $R \subseteq S \times S$, що означає для будь-якого стану з множини станів існує відповідний йому стан з цієї ж множини. Якщо множина атомарних тверджень T_A скінчена, тоді множина її підмножин 2^{T_A} буде відображенням $F_{РБС}$ для множини S в ті підмножини атомів, які будуть істинними в $s \in S$.

Аналогічно, представимо структурну частину РБС програмний модуль:

$$M_{A_i} = S_i, S_{0i}, R_i, F_{A_i}, \quad (4)$$

де i=1,2,...,n, R_i – множина переходів між станами $s_{ij} \in S_i$, j – кількість i-х станів, F_{A_i} – функція відображення множини станів S_i в множину підмножин множини T_{A_i}, тобто $2^{T_{A_i}}$. Кожен стан обов'язково має зв'язок з деякими іншими станами. Перехід з одного стану до іншого, якщо між ними є зв'язок, відобразимо послідовністю

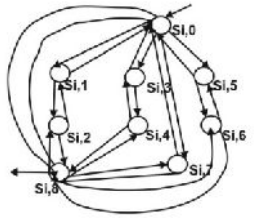


Рис. 11. Структура Кріпке програмного модуля A_i

$s_{ij}s_{ip}$, де i – номер програмного модуля, j та p – стани цього ж модуля. Тоді, послідовності $s_{ij}s_{ip}s_{ij}s_{ih}s_{iy}s_{iu}s_{ie}s_{ik}\ldots$ означатимуть переходи ПМ з одного стану в інший на протязі його експлуатації. РБС в процесі експлуатації характеризуватиметься множиною послідовностей переходів з стану в стан програмних модулів. Побудуємо структуру Кріпке для ПМ за його діаграмою переходів (рис. 11).

В табл. 1 представимо стани з множини станів програмного модуля S_i двійковими послідовностями, а також кодування програмних модулів.

Таблиця 1

Стани з множини станів програмного модуля

Номер програмного модуля S_i	Стани	Кодування станів	Кодування програмного модуля S_i
i	$s_{i,0}$	0000	Представлення десяткового числа і двійковим числом з 6-ма розрядами (кількість розрядів може бути змінена за потреби)
	$s_{i,1}$	0001	
	$s_{i,2}$	0010	
	$s_{i,3}$	0011	
	$s_{i,4}$	0100	
	$s_{i,5}$	0101	
	$s_{i,6}$	0110	
	$s_{i,7}$	0111	
	$s_{i,8}$	1000	

Наприклад, для i=5 тобто для п’ятого програмного модуля системи його код визначатиметься послідовністю 000101 і тоді відповідно множина станів:

$S_5 = \{0000000101,\ 0001000101,\ 00100001010,\ 0011000101, 0100000101,\ 0101000101, 0110000101,\ 0111000101, 1000000101\}$.

Позначимо V – множину змінних, які впливатимуть на зміну станів модулів, тоді $V = \sum_{i=1}^{n} V_i$, де V_i – множина змінних i-го модуля. Тоді, V' – множина змінних, які впливатимуть на зміну наступних станів модулів, тоді $V' = \sum_{i=1}^{n} V'_i$, де V'_i – множина змінних i-го модуля.

R_i – множина переходів між станами i-го модуля на множинах змінних та визначається так:

$$R_i = \{ \begin{array}{llllllll} 0000i & 0001i, & 0001i & 0000i, & 0001i & 0100i, & 0100i & 0001i, \\ 0100i & 1000i, & 1000i & 0100i, & 0000i & 1000i, & 1000i & 0000i, \\ 0000i & 0010i, & 0010i & 0000i, & 0010i & 0101i, & 0101i & 0010i, \\ 0101i & 1000i, & 1000i & 0101i, & 0000i & 0011i, & 0011i & 0000i, \\ 0011i & 0110i, & 0110i & 0011i, & 1000i & 0110i, & 0110i & 1000i, \\ 0000i & 0111i, & 0111i & 0000i, & 1000i & 0111i, & 0111i & 1000i \end{array} \}$$

Функцію F_{A_i} відображення множини станів S_i в множину підмножин множини T_{A_i} задамо таблично фрагментом(табл. 2).

Таблиця 2

Властивість	Кодований перехід	Стан
$p_{i,0}$	0000i	$s_{i,0}$
$p_{i,1}$	0000i, 0001i	$s_{i,1}$
…	…	…
$p_{i,47}$	0111i, 1000i	$s_{i,47}$

Логічні значення властивостей $p_{i,j}$ у вершинах графу з рис. 8 та множини елементів, які породжуватимуть переходи та впливатимуть на процес переходів з вершини у вершину, частково представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

Логічні значення властивостей та множини елементів

Перехід зі стану	A_i	До станів програмного модуля									Множини змінних	
		$s_{i,0}$	$s_{i,1}$	$s_{i,2}$	$s_{i,3}$	$s_{i,4}$	$s_{i,5}$	$s_{i,6}$	$s_{i,7}$	$s_{i,8}$	V_i	V_i'
$s_{i,0}$	$p_{i,0}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	$v_{i,0,0}$	$v'_{i,0,0}$
	$p_{i,1}$	1	1	0	0	0	0	0	0	0	$v_{i,0,1}$	$v'_{i,0,1}$
	$p_{i,2}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
	$p_{i,3}$	1	0	0	1	0	0	0	0	0	$v_{i,0,3}$	$v'_{i,0,3}$
	$p_{i,4}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
	$p_{i,5}$	1	0	0	0	0	1	0	0	0	$v_{i,0,5}$	$v'_{i,0,5}$
	$p_{i,6}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
	$p_{i,7}$	1	0	0	0	0	0	0	1	0	$v_{i,0,7}$	$v'_{i,0,7}$
	$p_{i,8}$	1	0	0	0	0	0	0	0	1	$v_{i,0,8}$	$v'_{i,0,8}$
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
$s_{i,8}$	$p_{i,0}$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	$v_{i,0}$	$v'_{i,0}$
	$p_{i,1}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
	$p_{i,2}$	1	0	1	0	0	0	0	0	0	$v_{i,8,2}$	$v'_{i,8,2}$
	$p_{i,3}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
	$p_{i,4}$	1	0	0	0	1	0	0	0	0	$v_{i,8,4}$	$v'_{i,8,4}$
	$p_{i,5}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
	$p_{i,6}$	1	0	0	0	0	0	1	0	0	$v_{i,8,6}$	$v'_{i,8,6}$
	$p_{i,7}$	1	0	0	0	0	0	0	1	0	$v_{i,8,7}$	$v'_{i,8,7}$
	$p_{i,8}$	1	0	0	0	0	0	0	1	1	$v_{i,8,8}$	$v'_{i,8,8}$

В кожному програмному модулі здійснюються переходи між станами згідно табличної функції F_{A_i} за схемою зображеною на рис. 12.

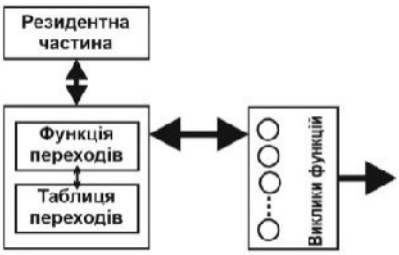


Рис. 12. Механізм переходів між станами ПМ

Функціонування РБС без будь-якого впливу ззовні системи, крім етапів установки системи адміністратором, додавання додатково її програмних модулів та перезапуску у випадку виникнення критичної події, що зупиняє роботу КС та системи. За умови виникнення певних визначених подій РБС призупиняє роботу процесів в КС та видає повідомлення користувачам і адміністратору. При виконанні основних поставлених завдань участь адміністратора та користувачів не передбачена.

Самовідтворення РБС здійснюється при початку роботи кожного з програмних модулів, додаванні кожного нового програмного модуля, видаленні певного програмного модуля. Ці події зберігають систему і дозволяють вирішувати поставлені на неї завдання. Цей рівень розгляду РБС представляє цю властивість як таку, що відноситься до існування системи. Описані події по організації спілкування між ПМ показують принцип утворення РБС та її самовідтворення в процесі життєвого циклу її частин. Мінімальна кількість працюючих КС, на яких встановлені програмні модулі, не менше двох. Але використання дуже малої кількості ПМ системи не є ефективним, бо тоді для підвищення достовірності виявлення ШПЗ недостатньою є кількість інформації від різних КС локальної мережі. Наявність тільки одного ПМ в складі РБС, тобто однієї ввімкненої КС, не дозволить використати можливості по переходу в інші стани з метою детальнішого дослідження поведінки ШПЗ, а використовуватиме лише можливості на рівні однокористувацьких антивірусних програмних засобів. Самовідтворення РБС на рівні її структурних частин відбуватиметься шляхом переведення ПМ, які тривалий час перебувають в одному з станів, до базового стану. А також, РБС здійснюватиме аналіз статистики роботи ПМ КС для оптимізації передавання завдань з метою залучення до їх вирішення найбільш активних КС.

Формування РБС включатиме такі етапи:

1) при встановленні програмного модуля системи на кожну КС локальної мережі необхідна процедура первинної активації всієї системи, яка передбачатиме за вказівкою адміністратора мережі початок роботи і обмін інформацією між програмними модулями про всі КС, на які встановлена система, визначення

ідентифікатора кожного програмного модуля та прописування цих даних у внутрішні бази програмних модулів, що крім характеристик КС також включатиме і час їх початку роботи; активація кожного програмного модуля системи відбуватиметься не в одну мить, а в різні часові проміжки, зокрема і збір характеристик конкретних КС, що впливатиме на початок роботи всієї системи, тому поки не буде отримано на кожній КС підтвердження про завершення встановлення всіх програмних модулів системи, то робота система не розпочинається; після введення відповідної вказівки адміністратором програмні модулі і система в цілому розпочинають автономну роботу; така послідовність дій при активізації виділяє наступні події: запуск програмного модуля в КС, введення логіна і пароля адміністратора, зчитування характеристик системи, формування ідентифікатора програмного модуля, прописування характеристик та ідентифікатора у внутрішню базу, відправка адміністратором від КС першого пакету на інші КС, отримання пакетів від інших програмних модулів, перевірка адміністратором отримання пакетів зі всіх визначених КС та вказівка-підтвердження адміністратором кожному модулю про завершення етапу активації системи; події цього етапу вважатимемо стартовим станом; при цьому в пакеті відображається відповідний ідентифікатор, що сигналізує про першу активацію системи адміністратором;

2) доповнення системи новими програмними модулями здійснюватиметься за допомогою адміністратора безпосередньо з тієї КС, яка додається в локальну мережу (нова або була на ремонті), при цьому в пакеті відображається відповідний ідентифікатор, що сигналізує про додавання в систему адміністратором ще однієї КС; ця подія заставляє інші програмні модулі системи після отримання вказівки долучити цей програмний модуль і надіслати пакет про свої данні, після отримання пакетів від всіх програмних модулів адміністратор активує новий програмний модуль, який стає частиною системи, при цьому всі решта модулів створюють нову сторінку в своїй базі і прописують оновленні данні про структуру системи та використовують їх в подальшій роботі; при збереженні даних про структуру системи враховується час активації кожного програмного модуля;

3) вилучення КС з локальної мережі призводить до втрати ПМ системи; виявлення цієї події іншими ПМ може відбутись при коректному вимкненні КС, тоді ПМ цієї передає пакет з відповідним ідентифікатором; якщо ж відбувся аварійний вихід КС, тоді інформація про відсутність частини системи переданою не буде, а виявиться під час спроб інших ПМ системи спілкуватися з цим ПМ.

Програмні модулі РБС при перебуванні на третьому і четвертому рівнях для вирішення поставлених завдань залучатимуть технології самонавчання, що впливатиме на зміну їх роботи при вирішенні таких же завдань на наступних етапах життєвого циклу; при цьому вони, передаючи завдання для обробки на інші ПМ, та результати їх виконання впливатимуть на інші програмні модулі; в цілому вплив ПМ, як структурних частин системи, на інші ПМ дозволить еволюціонувати РБС.

РБС на рівні її структурних частин ПМ здійснюватиме самоконтроль, що проявлятиметься в періодичній перевірці комплектності системи, здійсненню аналізу наявності ПМ, які тривалий час перебувають в одному й тому ж стані та потребують автоматичного зняття поточних завдань з виконання та переведення до іншого стану, обробка баз ПМ для оптимізації та розподіл ПМ на декілька груп згідно аналізу їх станів протягом тривалого проміжку часу.

Важливим елементом самоорганізації РБС є розробка в ній механізмів для утворення своїх власних цілей. До таких цілей віднесемо такі: динамічне формування системи; розподіл та співвіднесення всіх структурних частин за групами завантаженості, обробка критичних подій в системі, колективне виконання завдань, розв’язуване одним ПМ, обробка та оптимізація накопичених статистичних даних.

Основою побудованої моделі РБС є її структурні частині, які представляються програмними модулями, що можуть перебувати в різних станах. Перехід між станами ПМ здійснюється на основі визначеної множини переходів. Взаємодія та спілкування між ПМ базується на основі їх перебування в певних станах під час експлуатації. РБС є реагуючою системою, яка здійснюватиме моніторинг визначених подій. Кожен програмний модуль містить резидентний механізм, рушійні механізми для переходу між станами, переходи між якими задаються підмножинами переходів, данні для яких формуватимуться з використанням технологій штучного інтелекту.

Висновки. Отримані принципи та моделі розробки систем є важливим для теорії і практики створення ефективних систем виявлення шкідливого програмного забезпечення в локальних комп’ютерних мережах, побудованих на основі принципів децентралізації та самоорганізації.

Спроектована архітектура розподіленої багаторівневої системи базується на принципах децентралізації [6] та самоорганізації і дозволяє здійснювати її наповнення різними функціоналами виявлення шкідливого програмного забезпечення в локальних комп’ютерних мережах. РБС відноситься до реагуючих систем, яка постійно здійснюватиме моніторинг запущених процесів та виконуваних програм в комп’ютерних системах мережі. Об’єктами для дослідження зі сторони РБС буде перевірка наявного програмного забезпечення та запущених процесів в КС локальної мережі на можливість віднесення до шкідливого програмного забезпечення.

Розроблена модель архітектури програмних модулів РБС базується на принципах автономності та багаторівневості. Вона дозволяє здійснювати збільшення кількості рівнів системи без зміни її архітектури. Основою архітектури РБС виступають програмні модулі з однаковими архітектурами, але при цьому кожен з них може самостійно примати рішення на основі різних даних зібраних з різних КС мережі. Для ефективної роботи РБС необхідним є розробка методів і моделей взаємодії та узгодження роботи різних

програмних модулів між собою на їх відповідних рівнях і деталізація структури її станів.

Література

1. Komar M. High performance adaptive system for cyber attacks detection / M. Komar, V. Kochan, L. Dubchak, A. Sachenko, V. Golovko, S. Bezobrazov, I. Romanets // Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 21–23 September, 2017: Bucharest, Romania, 2017. – Vol. 2. – PP. 853–858.

2. Komar M. Intelligent Cyber Defense System Using Artificial Neural Network and Immune System Techniques / M. Komar, A. Sachenko, S. Bezobrazov, V. Golovko // Communications in Computer and Information Science. – 2017. – Vol. 783. – PP. 36–55. – ISSN 1865-0929, ISBN 978-3-319-69964-6.

3. Golovko V. Evolution of Immune Detectors in Intelligent Security System for Malware Detection / V. Golovko, S. Bezobrazov, V. Melianchuk, M. Komar // Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS-2011), Prague (Czech Republic), 2011. – Vol. 2. – P. 722–726.

4. Branitskiy A., Kotenko I. Hybridization of computational intelligence methods for attack detection in computer networks. Journal of Computational Science, Elsevier, 2017, No.23, P. 145–156.

5. Котенко И.В. Система сбора, хранения и обработки информации и событий безопасности на основе средств Elastic Stack / И.В. Котенко, А.А. Кулешов, И.А. Ушаков // Труды СПИИРАН. – 2017. – № 5(54). – С. 5–34.

6. Пат. на корисну модель 108238 Україна, МПК G06F 21/55. Мультиагентний спосіб локалізації бот-мереж у корпоративних комп'ютерних мережах / Поморова О.В., Савенко О.С., Крищук А.Ф., Лисенко С.М., Бобровнікова К.Ю., Нічепорук А.О. ; власник Хмельницький національний університет. – № u201600127 ; заявл. 04.01.2016 ; опубл. 11.07.2016, Бюл. № 13/2016.

References

1. Komar M. High performance adaptive system for cyber attacks detection / M. Komar, V. Kochan, L. Dubchak, A. Sachenko, V. Golovko, S. Bezobrazov, I. Romanets // Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 21–23 September, 2017: Bucharest, Romania, 2017. – Vol. 2. – PP. 853–858.

2. Komar M. Intelligent Cyber Defense System Using Artificial Neural Network and Immune System Techniques / M. Komar, A. Sachenko, S. Bezobrazov, V. Golovko // Communications in Computer and Information Science. – 2017. – Vol. 783. – PP. 36–55. – ISSN 1865-0929, ISBN 978-3-319-69964-6.

3. Golovko V. Evolution of Immune Detectors in Intelligent Security System for Malware Detection / V. Golovko, S. Bezobrazov, V. Melianchuk, M. Komar // Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS-2011), Prague (Czech Republic), 2011. – Vol. 2. – R. 722–726.

4. Branitskiy A., Kotenko I. Hybridization of computational intelligence methods for attack detection in computer networks. Journal of Computational Science, Elsevier, 2017, No.23, P. 145–156.

5. Kotenko I.V. Sistema sbora, hranenija i obrabotki informacii i sobytij bezopasnosti na osnove sredstv Elastic Stack / I.V. Kotenko, A.A. Kuleshov, I.A. Ushakov // Trudy SPIIRAN. – 2017. – № 5(54). – S. 5–34.

6. Pat. na korisnu model' 108238 Ukraïna, MPK G06F 21/55. Mul'tiagentnij sposib lokalizacії bot-merezh u korporativnih komp'juternih merezhah / Pomorova O.V., Savenko O.S., Krishhuk A.F., Lisenko S.M., Bobrovnikova K.Ju., Nicheporuk A.O. ; vlasnik Hmel'nic'kij nacional'nij universitet. – № u201600127 ; zajavl. 04.01.2016 ; opubl. 11.07.2016, Bjul. № 13/2016.

Рецензія/Peer review : 09.02.2018 р. Надрукована/Printed :28.03.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 004.4

С.С. ПЕТРОВСЬКИЙ
Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИБОРУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПІДКЛЮЧЕННЯ ТЕРМІНАЛЬНОГО ДОСТУПУ ДО ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ

У статті представлена розроблена методика вибору програмного забезпечення для реалізації термінального доступу до програмних продуктів на основі розрахунку прямих витрат на володіння програмним забезпеченням, зроблені висновки про сферу застосування розглянутих програмних продуктів.

Ключові слова: *термінальний доступ, протоколи термінального доступу, X-windows, Nomachine NX, RDP, ICA, мережевий трафік, прямі витрати, ліцензування, CAL, TS CAL, вартість підключення термінального рішення.*

S.S. PETROVSKY
Khmelnytskyi National University

DEVELOPMENT OF SOFTWARE SELECTION METHOD FOR IMPLEMENTATION OF TERMINAL ACCESS TO SOFTWARE PRODUCTS

This article represents a method of software selection for the purpose of terminal access connections to software products implementation based upon the evaluation of the direct expenditures for the software ownership, and contains the conclusions on the sphere of implementation of the software products under consideration. Due to the large number of software products and technologies presented in the market, it is necessary to have an idea of the possibilities of these software products, as well as the areas of their application. The purpose of the research was to analyze the existing technologies of terminal access in the market, ways of licensing such connections, as well as pricing methods for such solutions. In the course of the work, three basic licensing schemes are analyzed: the licensing scheme of the server and client connections, the licensing scheme of the server only (or the licensing of physical processors of hardware components), as well as the scheme for granting licenses only for client connections.

Keywords*: terminal access, terminal access protocols, X-windows, Nomachine NX, PRD, ICA, network traffic, direct expenditures, licensing, CAL, TS CAL, terminal solution connection cost.*

Постановка проблеми. Зважаючи на велику кількість представлених на ринку програмних продуктів і технологій, необхідно мати уявлення про можливості цих програмних продуктів, а також про передбачувану області їх застосування. [1]. На даний момент не існує ефективного механізму оцінки прямих витрат на впровадження тієї чи іншої схеми термінального доступу.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). розробити методику вибору програмного забезпечення для реалізації термінального доступу до програмних продуктів на основі розрахунку прямих витрат на володіння програмним забезпеченням.

Виклад основного матеріалу. Для вибору оптимального програмного продукту з реалізації термінального доступу необхідно розрахувати прямі витрати на володіння цим програмним забезпеченням. Метою дослідницької роботи було проаналізувати існуючі на ринку технології термінального доступу, способи ліцензування подібних підключень, а також методики ціноутворення подібних рішень. В ході робіт, проаналізовані три принципові схеми ліцензування: схема ліцензування сервера і клієнтських підключень, схема ліцензування тільки сервера (або ліцензування фізичних процесорів апаратних компонентів), а також схема надання ліцензій тільки на клієнтські підключення. В результаті проведених досліджень були запропоновані наступні складові частини прямих витрат на володіння програмним забезпеченням термінального доступу:

- вартість серверного компонента для організації термінального доступу (в дану категорію входить вартість операційної системи і вартість сервера терміналів);
- вартість клієнтського підключення до термінального сервера, (в дану категорію входить вартість клієнтської ліцензії підключення до самої серверної операційної системи - CAL (Client Access License) і вартість клієнтської ліцензії підключення до сервера терміналів - TSCAL (Terminal Server Client Access License));
- обсяг і вартість отриманого мережевого трафіку одним користувачем термінального сервера в місяць.

Так як схеми ліцензування різних програмних продуктів і їх вартість відрізняються один від одного, а також можуть залежати від цілого ряду чинників, для розрахунку прямих витрат була розроблена наступна універсальна формула, що обчислює вартість володіння одним клієнтським підключенням до сервера термінального доступу, в разі використання будь-якої сучасної схеми ліцензування.

$$S = \sum_{i=1}^{y} (V \times T_{yi} \times r_i) + C_{CAL} + C_{TSCAL} + \frac{C_S + C_{TS}}{n},$$

де V - середній обсяг трафіку споживаного одним термінальним підключенням на годину, вимірюється в мегабайтах;

T_{yi} - кількість робочих годин в і році;

r_i - середня вартість 1 мегабайта вхідного трафіку для підключення до Інтернету, через який працює користувач, для *i*-го року, вимірюється в гривнях, вартість трафіку майбутніх років можна розраховувати з урахуванням річної інфляції;

y - планований термін експлуатації обраного термінального сервера (або його термін амортизації), вимірюється в роках;

C_{CAL} - вартість однієї клієнтської ліцензії (CAL) для операційної системи, на якій функціонує сервер терміналів, вимірюється в гривнях;

C_{TSCAL} - вартість однієї клієнтської ліцензії (TSCAL) для експлуатованого сервера терміналів, вимірюється в гривнях;

C_S - вартість операційної системи, на якій функціонує сервер терміналів, вимірюється в гривнях;

C_{TS} - вартість термінального сервера (або вартість ліцензії на сервер терміналів, що дозволяє підключатися необмеженій кількості користувачів);

n - кількість користувачів, які будуть експлуатувати термінальний сервер.

Для апробації даної методики були відібрані і досліджені такі програмні продукти і технології, які реалізують термінальний доступ:

1. Технологія реалізації графічної підсистеми в операційних системах Linux-сімейства – X-window. Дана технологія призначена для реалізації графічного інтерфейсу користувача в операційних системах Linux, але через специфіку протоколу X-windows може працювати і як термінальна технологія віддаленого доступу [2].

2. Програмний продукт FreeNX, який реалізує протокол Nomachine NX. Даний програмний продукт є вільно розповсюджуваної реалізацією комерційного протоколу Nomachine NX [3], в основі цього протоколу лежить протокол X-windows, але з використанням додаткових методів компресії інформації, що передається інформації, а також засобами шифрування (протокол SSH) [4].

Сервер терміналів входить до складу операційної системи Microsoft Windows Server 2008. Дана операційна система для реалізації термінального доступу використовує модифікований протокол RDP версії 6.1. Система ліцензування даного програмного продукту залишилася колишньою. [5] Програмний продукт Xen-Desktop від компанії Citrix. Програмні продукти Citrix використовують власний протокол ICA, вже багато років є еталоном термінальних технологій. Ліцензування даного програмного продукту здійснюється на клієнтське підключення, в вартість клієнтського підключення за даною технологією [6].

Програмний продукт XP / VS Server від компанії ThinStuff. Даний програмний продукт є альтернативною реалізацією протоколу RDP 6.1. У схему ліцензування даного програмного продукту будуть входити: вартість операційної системи Microsoft Windows Server 2008, підключення до сервера (CAL-ліцензія) і вартість клієнтського підключення ThinStuff XP / VS Server [7].

Програмний продукт LX Server від компанії ThinStuff. Даний програмний продукт також реалізує протокол RDP 6.1. У схему ліцензування даного термінального підключення входить тільки клієнтська ліцензія ThinStuff LX Server [7].

Для розрахунку середньої величини споживаного термінальним підключенням трафіку була змодельована робота користувача, що виконує протягом робочого дня завдання в додатках платформи 1С: підприємство 7.7, браузера, електронної пошти, текстового редактора та електронної таблиці. Для підрахунку трафіку було використано програмне забезпечення TrafficInspector [7], заміри проводилися протягом 2 місяців, при 7-годинному робочому дні. Робота користувача в терміналі характеризувалася такими показниками:

- Середнім кількістю документів в обліковій системі 1С: Підприємство 7.7 в день: 210;
- Середнім кількістю отриманих і відправлених електрон них листів (15 і 7 листів в день);
- Середнім об’ємом використаного трафіку через Інтернет-браузер (3,5 мегабайта);
- Середнім кількістю створюваних електронних документів в форматі текстового редактора і електронної таблиці (в день 1,7 документа).

В результаті були отримані наступні результати для розглянутих програмних продуктів:

Таблиця 1

Обсяг споживаного трафіку для підключень термінального доступу

Програмний продукт/технологія	Протокол	Середній об’єм трафику, що використовується, в час, Мб
X-window	X-windows	21
Free NX	NX	10
Microsoft 2008 Windows Server	RDP 6.1	3
Citrix XenDesktop 5.0	ICA	2,5
ThinStuff XP/VS Server	RDP 5.2	3,5
ThinStuff LX Server	RDP 5.2	3,5

Ґрунтуючись на отриманій інформації, за представленою методикою можна провести розрахунок прямих витрат в рамках наступного сценарію. Сценарій: кількість користувачів, що працюють віддалено на термінальному сервері, – 20 осіб, середній час робочих годин одного користувача на рік – 750 годин.

Запланований термін експлуатації термінального сервера – 2 роки.

Таблиця 2

Розрахунок вартості володіння одним клієнтським підключенням до сервера термінального доступу

Програмний комплекс	*CS* , грн	C_{TS}, грн	C_{CAL}, грн	C_{SCAL}, грн	*V*, Мб	Вартість термінального підключення, грн.
X-window	0	0	0	0	21	31 500
FreeNX	0	0	0	0	10	15 000
MS Windows Server 2008	26500	0	1044	2526	3	9 395
Citrix XenDesktop	23635	0	1026	1969	2,5	7 927
ThinStuff XP/VS Server	23635	41000	1026	0	3,5	9 508
ThinStuff LX Server	0	18000	0	0	3,5	6 150

Висновки. Ґрунтуючись на розмірах прямих витрат для реалізації термінального доступу, а також маючи уявлення про можливості того чи іншого програмного продукту, можна буде зробити відповідні висновки про доцільність їх застосування в конкретних завданнях і областях. Отримані результати за розробленою методикою наочно демонструють перевагу одних програмних продуктів над іншими в кожному окремо взятому сценарії. Також очевидно, що програмні продукти для реалізації термінального доступу потрібно відбирати, перш за все, виходячи з ситуації, в якій планується використовувати дані технології.

Таким чином, запропонована методика являє собою інструмент, здатний надати допомогу у виборі термінального рішення і за рахунок правильно зробленого вибору зможе істотно скоротити витрати на використання веб-канали доступу.

Література

1. Терминальная архитектура [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://wiki.sysfaq.ru/w/index.php/Терминальная_архитектура
2. X.Org Wiki [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.x.org/wiki/
3. NoMachine NX - Desktop Virtualization and Remote Access Management Software [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.nomachine.com/
4. Free NX - the free NX [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://freenx.berlios.de/
5. Microsoft Україна [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.microsoft.com/ua/ua/default.aspx
6. Citrix Україна [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.citrix.ua/
7. Thinstuff: Products [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.thinstuff.com/

References

1. Terminalnaya arxitektura. URL: http://wiki.sysfaq.ru/w/index.php/terminalnaya_arxitektura
2. x.org wiki [elektronnij resurs]. – rezhim dostupu: http://www.x.org/wiki/
3. Nomachine nx - desktop virtualization and remote access management software. URL: http://www.nomachine.com/
4. Free nx - the free nx. URL: http://freenx.berlios.de/
5. Microsoft ukraïna. URL: http://www.microsoft.com/ua/ua/default.aspx
6. Citrix ukraïna. URL: http://www.citrix.ua/
7. Thinstuff: products. URL: http://www.thinstuff.com/

Рецензія/Peer review : 15.2.2018 р. Надрукована/Printed :28.03.2018 р.
Рецензент: д. т. н., проф. Сорокатий Р.В.

УДК 004.891.3: 004.3

Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, В.С. ГОНЧАРУК, К.О. КОБЕЛЬ
Хмельницький національний університет

МЕТОД ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ EYE-TRACKING У ПРОЕКТУВАННІ ІНТЕРФЕЙСІВ КОРИСТУВАЧА

Метою даного дослідження є оцінювання зручності використання інтерфейсу користувача (ІК), а також оцінювання ІК на відповідність гештальт-принципам за рахунок використання технології eye-tracking в процесі проектування ІК. В статті виконано вибір метрик айтрекінгу, застосовних для оцінювання зручності використання ІК, а також для оцінювання ІК на відповідність гештальт-принципам. На основі обраних метрик розроблено метод використання технології eye-tracking у проектуванні ІК, який забезпечує: оцінювання та інтерпретацію експертами значень метрик айтрекінгу, придатних для оцінювання зручності використання ІК; оцінювання та інтерпретацію експертами значень метрик айтрекінгу, придатних для оцінювання ІК на відповідність гештальт-принципам; експертні висновки щодо зручності використання ІК та відповідності ІК гештальт-принципам.

Ключові слова: інтерфейс користуувача (ІК), гештальт-приниципи, зручність використання ІК, технологія eye-tracking, метрики айтрекінгу.

T.O. HOVORUSHCHENKO, V.S. HONCHARUK, K.O. KOBEL
Khmelnytsky National University

METHOD OF USE OF EYE-TRACKING TECHNOLOGY IN THE USER INTERFACE DESIGN

The aim of this study is the evaluating the usability of the user interface (UI), as well as the evaluating the UI for compliance with gestalt principles by using the eye-tracking technology in the user interface design. One of the key determinants of the success of modern commercial, technical, social and scientific projects is the user interface, which determines the effectiveness of human-machine interaction and perception of software, provides access to the functional components of the software and the satisfaction of the user by software and its practicality. Currently, the main task of the UI developers is the design of a flexible, user-friendly, intuitive, user-oriented interface, which will provide full access to the functionality of the software. Therefore, the basis for the UI design can be the basic principles of cognitive psychology (for example, gestalt principles), and the main criterion for success is the usability of UI. The modern technique, which is used in the design of user-oriented interface, is eye-tracking technology, using of which is reasonable and expedient in assessing the usability of UI, and in evaluating the UI for compliance with gestalt principles. In this paper, the choice of eye-tracking metrics, which are applicable for the evaluating the usability of UI, and for the evaluating the UI for compliance with gestalt principles, has been made. On the basis of the selected eye-tracking metrics, the method of use of eye-tracking technology in the user interface design is developed. The developed method provides: 1) assessment and interpretation (by the experts) of the values of eye-tracking metrics, which are applicable for the evaluating the usability of UI; 2) assessment and interpretation (by the experts) of the values of the eye-tracking metrics, which are applicable for the evaluating the UI for compliance with gestalt principles; 3) expert conclusions about the usability of UI and compliance UI with the gestalt principles. The prospect for further research of the authors is the selection of experts and conducting the experiments on the assessment of the usability of the UI and on the assessment of UI for compliance with gestalt principles using eye-tracking technology.

Keywords: user interface (UI), gestalt principles, usability of UI, eye-tracking technology, metrics of eye-tracking.

Вступ

Одним із визначальних факторів успіху сучасних комерційних, технічних, суспільних та наукових проектів є інформаційні технології та програмне забезпечення (ПЗ). Сучасне ПЗ є складним технологічним продуктом, основне призначення якого – максимально полегшити роботу та забезпечити ефективне вирішення задач користувачів. Тоді постає задача розроблення ПЗ, впровадження якого дозволить зменшити витрати часу на навчання та підвищити ефективність роботи спеціалістів, що його використовуватимуть. Користувачі хочуть працювати зі зручним та простим у вивченні ПЗ. Одним із основних компонентів ПЗ, який визначає ефективність людино-машинної взаємодії і сприйняття ПЗ, забезпечує доступ до функційних компонентів програми і задоволеність користувача ПЗ або його практичністю, є інтерфейс користувача (ІК). Саме професійно виконаний ІК дає можливість підвищити ефективність використання ПЗ шляхом скорочення часу навчання користувачів, часу впровадження ПЗ в цілому, повного використання закладеної в ПЗ функціональності. Тоді основною задачею, яка стоїть на сьогодні перед розробниками ІК, є якісне проектування гнучкого, інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу, котрий забезпечить повний доступ до функціональності ПЗ [1].

Одним з основних визначальних факторів успішності для компаній, які розробляють та продають інформаційні системи та ПЗ, є зручність використання (usability), оскільки саме зручність використання є найважливішим критерієм для користувачів ПЗ. Зручність використання ІК – показник, який визначає кількість зусиль, необхідних для вивчення принципів роботи з ПЗ з використанням пропонованого інтерфейсу; це ефективність, рентабельність та задоволення, з яким користувачі можуть виконати ті чи інші задачі в заданому середовищі [1]. На сьогодні пропонують декілька категорій загального характеру (рис.1 [1]), за допомогою яких можна дати чітке визначення терміну «зручність використання».

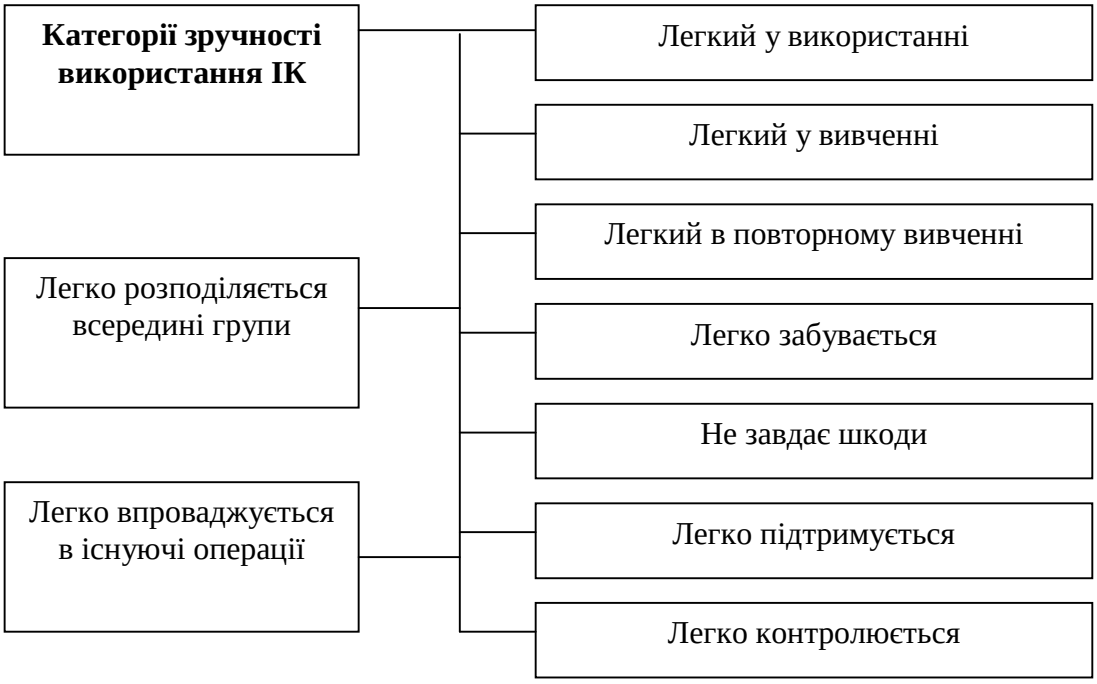


Рис. 1. Категорії зручності використання інтерфейсу користувача

Розробники інтерфейсів повинні чітко розуміти необхідність орієнтації проектування на потреби користувачів. Перш ніж починати проектування ІК, розробники можуть полегшити свою роботу за допомогою зосередження уваги на спільних для всіх людей рисах з точки зору вимог до інтерфейсу, а лише потім на вивченні різних потреб в залежності від конкретної задачі. Інтерфейси користувача повинні бути побудовані з врахуванням закономірностей мислення та поведінки людини. Тому основою для проектування людино-машинної взаємодії є базові принципи когнітивної психології (наприклад, гештальт-принципи), а основним критерієм успішності є задоволення цілей користувача та емоційне задоволення користувача від роботи з ПЗ.

Використання сучасних технологій проектування ПЗ вимагає відповідного розвитку методів і засобів проектування ІК. Сучасною методикою, яка застосовується при проектуванні та особливо при оцінюванні зручності використання ІК, є технологія eye-tracking – процес відстеження руху очей людини з використанням спеціального пристрою (айтрекера). Айтрекінг застосовується для знаходження недоліків у людино-машинній взаємодії та подальшого її покращення за рахунок аналізу людської уваги (за рахунок аналізу руху очей людини [2]).

Отже, наразі *актуальною задачею* є оцінювання зручності використання ІК, а також оцінювання ІК на відповідність гештальт-принципам за рахунок використання технології eye-tracking в процесі проектування ІК.

Гештальт-принципи при проектуванні інтерфейсів користувача

Одним з популярних напрямків вивчення зорової уваги, принципи якої наразі активно використовуються в дизайні та рекламі, є *гештальт-психологія* [2]. Гештальт-психологія досліджує цілісне людське сприйняття та його впорядкованість в умовах, де форми/об’єкти відтворені не точно або спотворені (наприклад, CAPTCHA, де символи спотворені так, що їх може зрозуміти людина, але не може розпізнати машина або робот); така цілісність сприйняття можлива лише за дотримання деяких принципів [3]. Для маркетологів, веб-дизайнерів, дослідників та проектувальників ІК важливо розуміти принципи гештальт-психології, оскільки вони складають основу графічного відображення, описують, як люди сприймають візуальні об’єкти.

Розглянемо *гештальт-принципи* [2–10]:

1) принцип змістовності – фундаментальний принцип гештальта. Люди воліють мати справу з простими, зрозумілими та впорядкованими речами, які на рівні інстинкту сприймаються більш безпечними, ніж об’єкти складні та незрозумілі, оскільки прості речі не вимагають від людини напружених розумових зусиль і не загрожують їй неприємними сюрпризами. Ось чому при сприйнятті складних форм людина, як правило, «реорганізує» їх до набору простих компонентів або до простої цілої форми;

2) принцип замкненості також базується на прагненні людини до спрощення образів, які сприймаються. Але замкненість є протилежністю до змістовності. Людина може об’єднати частини, щоб побачити просте ціле. Мозок людини доповнює інформацію, якої не вистачає, щоб сформувати завершену фігуру. Ключом до використання принципу замкненості є надання спостерігачу достатньо інформації для того, щоб він міг «домалювати» у своєму сприйнятті елементи, яких не вистачає;

3) принцип симетрії та порядку – симетрія дає людині відчуття надійності та порядку, які вона

схильна шукати в силу вічного людського прагнення – перетворювати хаос у порядок. Цей принцип призводить до поняття балансу в композиції картини, рисунка або веб-сторінки, хоча композиція може і не бути ідеально симетричною, щоб перебувати у рівновазі. Оскільки очі людини швидко виявляють симетрію та порядок, то цей принцип може бути використаний для ефективного поширення термінової інформації;

4) принцип фігури та фону належить до взаємовідношення «позитивних» (значущих) елементів будь-якої композиції та «негативного» фону, який не володіє контекстом. Сприйняття будь-якого зображення починається з того, що око відокремлює фігури (об'єкти) від фону. Співвідношення «фігура і фон» може бути стійким або нестійким залежно від того, наскільки легко визначити, що є фігурою, а що – фоном. Чим стабільнішим є співвідношення, тим простіше людині сфокусувати увагу саме на тому, що вона хоче побачити або на тому, що їй хочуть показати;

5) принцип рівномірної зв'язності – елементи, з'єднані візуально, сприймаються як більш тісно зв'язані, ніж елементи, які не мають такого з'єднання. Даний принцип є найбільш сильним з вищеперерахованих принципів;

6) принцип спільних областей – елементи сприймаються як частина групи, якщо вони знаходяться в одній замкненій області;

7) принцип близькості – якщо елементи розташовані близько один до одного, то вони розглядаються як частина групи, а не як окремі елементи. При цьому, щоб об'єкти сприймались як пов'язані (близькі), вони не обов'язково повинні бути схожими за якимись ознаками (кольором, розміром, формою);

8) принцип продовження – елементи, розташовані на лінії або кривій, сприймаються як більш тісно зв'язані, ніж елементи, які не знаходяться на лінії або кривій. Значення цього принципу полягає в тому, що ми продовжимо наше сприйняття форм навіть за межами, де вони закінчуються;

9) принцип спільного призначення/синхронності – елементи, які рухаються в одному напрямку, сприймаються як більш зв'язані, ніж елементи нерухомі або ж ті, які рухаються в різних напрямках;

10) принцип паралелізму – паралельні лінії сприймаються людиною як вказання на один напрямок або рух в одному напрямку, що інтерпретується при візуальному сприйнятті як взаємозв'язок цих ліній;

11) принцип подібності – будь-яка кількість характеристик об'єктів можуть бути подібними: колір, розмір, форма, текстури і т.і. Коли людина бачить такі подібні характеристики, вона сприймає елементи як взаємопов'язані завдяки їхнім спільним характеристикам. Очевидне застосування принципу подібності у веб-дизайні – це колір посилань. Як правило, посилання сторінки оформляються однаково – частіше за все синім кольором та підкресленням, що допомагає користувачу використовувати як посилання всі аналогічно виділені слова та фрази;

12) принцип точки фокусування передбачає, що увага спостерігача фокусуватиметься на елементі, який чимось відрізняється від інших. Принцип точок фокусування уваги базується на людській здатності швидко ідентифікувати невідомі об'єкти як потенційні джерела небезпеки. Принципи подібності та точки фокусування пов'язані між собою, оскільки точка фокусування не повинна бути схожою на жоден інший елемент, щоб звернути на себе увагу спостерігача;

13) принцип попереднього досвіду – елементи, як правило, сприймаються відповідно до попереднього досвіду користувача. Попередній досвід є одним з найбільш слабких гештальт-принципів. Попередній досвід є унікальним для кожної людини, тому важко зробити правдивий прогноз щодо того, як сприйматиметься новий візуальний елемент довільно обраним спостерігачем.

Розуміння та вміння використовувати гештальт-принципи при проектуванні ІК дозволить створювати білш лаконічні, гармонійні та дружні до користувачів інтерфейси. Тому ідея використання гештальт-принципів при проектуванні ІК сама по собі не є новою – так, у роботі [11] розроблено критерій оцінювання графічного інтерфейсу на основі гештальт-принципів (автори [11] розглядають 4 найважливіші гештальт-принципи); у роботі [12] на основі принципів сприйняття гештальт-психології запропоновано формулювання індексу складності задач для зорово-просторової пам'яті та пропускної здатності людини-оператора; у роботі [13] описано методологічні основи синтезу когнітивних інтерфейсів для мульти-суб'єктних інформаційних систем, наведено визначення когнітивного інтерфейсу користувача, а також підходи до формальної оцінки таких інтерфейсів з врахуванням гештальт-принципів; у роботі [14] викладено підхід до розроблення когнітивних систем з точки зору триадної семіотичної моделі, яка є контекстом для інтеграції теорії керування, теорії інформації та гештальт-психології в узгоджену теоретичну базу; автори [15] пропонують мінімалістичну модель дизайну, засновану на гештальт-принципах, тобто дослідження [15] вказує на суттєвий зв'язок між гештальт-принципами та спрощенням відношень між візуальними елементами у разі досягнення мінімалістичних властивостей при розробленні веб-сайтів; у роботі [16] оцінюється ефект реалізації принципів гештальту щодо соціальної присутності користувача; автори [17] розглядають гештальт-принципи як одну з можливих основ для структурування мультисенсорних керівних принципів проектування. Але зазначені роботи не розглядають використання гештальт-принципів для підвищення та оцінювання зручності використання інтерфейсів користувача.

Використання технології eye-tracking при проектуванні інтерфейсів користувача

Технологія eye-tracking застосовується для досліджень, спрямованих на знаходження недоліків у людино-машинній взаємодії та подальше її вдосконалення, а також для вимірювання характеристики рухів очей та фізичних характеристик самого ока, наприклад, таких, як розмір зіниці. Використання технології eye-tracking при проектуванні ІК має наступну мету: дізнатись більше про потреби, переваги, мотиви,

процеси потенційних користувачів. При візуалізації даних айтрекінгу широко застосовується теплова карта – рис. 2 [2].

Рис. 2. Теплова карта уваги для товарів різних компаній [2]

Рухи очей людини – ціле-залежні. Це означає, що одна й та ж людина буде дивитись на один об’єкт по-різному, якщо їй задано різні цілі. Після того, як очі людини подивились кудись, увага допомагає опрацювати та проаналізувати те, що було зафіксовано зором. Маючи інформацію про напрямок уваги людини в даний момент часу, дослідник може виявити недоліки дизайну та людино-машинної взаємодії, а також покращити їх.

Останнім часом використання технології eye-tracking набуває все більшої популярності, відтак дослідники все більше уваги приділяють дослідженню цієї технології при проектуванні інтерфейсів користувача – так, у роботі [18] виконується кількісне оцінювання інтерфейсу динамічної інтерактивної візуалізації на основі даних візуального спостереження, яке проводиться з використанням технології eye-tracking; автори [19] запропопонували метод мультимодальної взаємодії, який використовує комбінацію технології eye-tracking і розпізнавання жестів за допомогою контролера жестів і забезпечує значне покращення часу орієнтації для невеликих точок; робота [20] використовує технологію eye-tracking для діалогу користувача та комп’ютера з метою підвищення надійності, мобільності та зручності; автори [21] представляють оглядове спостереження, яке оцінює два загальноприйняті методи візуалізації онтології за допомогою технології eye-tracking; у роботі [22] представлено результати, отримані шляхом експериментального дослідження з використанням технології eye-tracking в контексті користувацького досвіду при виконанні операцій пошуку в мережі Інтернет, які довели, що представлення результатів у пошуковій системі може впливати на поведінку учасників процесу прийняття рішень та відповідний вибір посилання. Але зазначені роботи не розглядають використання технології eye-tracking для оцінювання зручності використання ІК, а також оцінювання ІК на відповідність гештальт-принципам.

Багато практикуючих розробників ІК розділились на два протилежних табори: ті, хто виступає за застосування технології eye-tracking в дослідженнях, і ті, хто проти неї [2]. Прибічники хочуть використовувати eye-tracking для кожного дослідження, незалежно від його цілей. Противники ж стверджують, що eye-tracking просто не має великого значення. Технологя eye-tracking може бути цінним доповненням для окремих досліджень ІК (наприклад, для оцінювання зручності використання ІК, а також оцінювання ІК на відповідність гештальт-принципам) та неефективною або навіть витратною в інших випадках.

Варто відзначити, що eye-tracking недоцільно проводити, доки не визначені чіткі цілі досліджень. Крім цього, eye-tracking є досить вартісним (дорогим є обладнання та час фахівців, які з ним працюють). Для проведення eye-tracking повинна бути чітко сформульована мета і задачі відносно до об’єкта дослідження [2].

Рішення про те, чи потрібен eye-tracking для тих чи інших досліджень, зводиться до відповідей на три основних питання. Перше та найважливіше питання: «Чи буде eye-tracking надавати необхідну інформацію, яка відповідає цілям дослідження?». Друге і третє питання змушують дослідника задуматись про економічність обраного підходу: «Чи є eye-tracking найпростішим або єдиним способом отримання необхідних даних?», «Чи не потрібні додаткові інвестиції для проведення eye-tracking?». На перше питання має бути однозначно позитивна відповідь. Якщо є позитивна відповідь на друге та (або) третє питання, то це дає досліднику можливість і право застосовувати eye-tracking для досліджень [2]. Так, наприклад, при оцінюванні зручності використання ІК, а також оцінюванні ІК на відповідність гештальт-принципам на перше і друге питання матимемо однозначно позитивну відповідь, тому застосування технології eye-tracking для таких досліджень є обгрунтованим та доцільним.

Метод використання технології eye-tracking у проектуванні інтерфейсів користувача

В дослідженнях ІК з використанням технології eye-tracking в якості залежних змінних використовуються метрики айтрекінгу, які допомагають провести більш детальне вимірювання не тільки на цільовій основі, але й для окремих компонентів задач. Важливим є вибір необхідної номенклатури метрик для дослідження з використанням технології eye-tracking з врахуванням особливостей об’єкту дослідження [2].

Технологія eye-tracking дає можливість оцінити такі евристичні характеристики зручності

використання ІК, як «розпізнавання, а не згадування» (мінімізація навантаження на пам'ять користувача) і «естетичний та мінімально необхідний дизайн ІК» (ІК та його елементи не повинні містити некорисну, невикористовувану чи рідко використовувану інформацію). Оберемо метрики айтрекінгу, придатні для оцінювання зручності використання ІК з точки зору двох вищезазначених евристичних характеристик. Обрані метрики представимо у вигляді наступної множини:

$$UB = \{pr, pdt, tdt, nf, aft, nvv, tffst\}, \quad (1)$$

де pr – відсоток респондентів, які звертають увагу на область (елемент) інтерфейсу (слід прагнути до збільшення цієї метрики для кожного елементу ІК), pdt – відсоток часу затримки уваги користувача на області (елементі) інтерфейсу (слід прагнути до збільшення цієї метрики для кожного елементу ІК), tdt – загальний час затримки уваги користувача на області (елементі) інтерфейсу (слід пам'ятати, що час затримки залежитьь від тривалості фіксацій, яка може бути пов'язана з труднощами опрацювання представленої інформації), nf – кількість фіксацій уваги користувача на області (елементі) інтерфейсу (слід прагнути до збільшення цієї метрики для кожного елементу ІК), aft – середня тривалість фіксації уваги користувача на області (елементі) інтерфейсу (як правило, тривалість фіксації складає 100-300 мс, а більш довгі фіксації означають більш трудомістке видобування інформації через незвичну термінологію, неясні образи, складні поняття та високу щільність інформації), nvv – кількість зорових візитів на область (елемент) інтерфейсу як ціль до його обрання (слід прагнути до зменшення цієї метрики для кожного елементу ІК), $tffst$ – час від першої фіксації області (елементу) інтерфейса до його вибору як цілі (слід прагнути до зменшення цієї метрики для кожного елементу ІК).

Технологія eye-tracking дає можливість оцінити такі гештальт-принципи, як принцип точки фокусування, принцип змістовності, принцип фігури та фону. Оберемо метрики айтрекінгу, придатні для оцінювання ІК на відповідність гештальт-принципам. Обрані метрики представимо у вигляді наступної множини:

$$GP = \{tfbf, nfbf, pr, pdt, tdt, nf, aft, nvv, tffst\}, \quad (2)$$

де $tfbf$ – час до першої фіксації уваги користувача на області (елементі) інтерфейсу (слід прагнути до зменшення цієї метрики для кожного елементу ІК), $nfbf$ – кількість фіксацій до першої фіксації уваги користувача на області (елементі) інтерфейсу (слід прагнути до зменшення цієї метрики для кожного елементу ІК).

Очевидно, що при оцінюванні зручності використання ІК та при оцінюванні відповідності ІК гештальт-принципам використовуються подібні набори метрик айтрекінгу (7 спільних метрик).

Метод використання технології eye-tracking у проектуванні ІК складається з наступних кроків:

1) відбувається представлення інтерфейсу користувача у вигляді матриці його основних елементів:

$$UI = \begin{vmatrix} ui_{11} \ldots ui_{1j} \ldots ui_{1n} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ ui_{i1} \ \ldots ui_{ij} \ldots ui_{in} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ ui_{m1} \ldots ui_{mj} \ldots ui_{mn} \end{vmatrix}, \quad (3)$$

де ui_{ij} – i, j -й елемент ІК (якщо певний елемент в ІК відсутній, то відповідний елемент матриці є порожнім), $i = \overline{1..m}$, $j = \overline{1..n}$, m – максимальна кількість елементів ІК по горизонталі («рядків»), n – максимальна кількість елементів ІК по вертикалі («стовпців»);

2) за допомогою айтрекеру відбувається підрахунок метрики «відсоток респондентів, які звертають увагу на область (елемент) інтерфейсу» для кожного елементу ui_{ij}; значення метрик для кожного елементу ІК записуються у матрицю:

$$UIPR = \begin{vmatrix} pr_{11} \ldots pr_{1j} \ldots pr_{1n} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ pr_{i1} \ \ldots pr_{ij} \ldots pr_{in} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ pr_{m1} \ldots pr_{mj} \ldots pr_{mn} \end{vmatrix}, \quad (4)$$

де pr_{ij} – значення метрики «відсоток респондентів, які звертають увагу на елемент інтерфейсу» для i, j -го елементу; якщо елемент ui_{ij} матриці UI був порожній, то відповідний елемент матриці $UIPR$ встановлюється рівним -1;

3) за допомогою айтрекеру відбувається підрахунок метрики «відсоток часу затримки уваги користувача на

елементі інтерфейсу» для кожного елементу ui_{ij}; значення метрик для кожного елементу ІК записуються у матрицю:

$$UIPDT = \begin{vmatrix} pdt_{11} \ldots pdt_{1j} \ldots pdt_{1n} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ pdt_{i1} \ \ldots pdt_{ij} \ldots pdt_{in} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ pdt_{m1} \ldots pdt_{mj} \ldots pdt_{mn} \end{vmatrix}, \quad (5)$$

де pdt_{ij} – значення метрики «відсоток часу затримки уваги користувача на елементі інтерфейсу» для i, j -го елементу ІК; якщо елемент ui_{ij} матриці UI був порожній, то відповідний елемент матриці $UIPDT$ встановлюється рівним -1;

4) за допомогою айтрекеру відбувається підрахунок метрики «загальний час затримки уваги користувача на елементі інтерфейсу» для кожного елементу ui_{ij}; значення метрик для кожного елементу ІК записуються у матрицю:

$$UITDT = \begin{vmatrix} tdt_{11} \ldots tdt_{1j} \ldots tdt_{1n} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ tdt_{i1} \ldots tdt_{ij} \ldots tdt_{in} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ tdt_{m1} \ldots tdt_{mj} \ldots tdt_{mn} \end{vmatrix}, \quad (6)$$

де tdt_{ij} – значення метрики «загальний час затримки уваги користувача на елементі інтерфейсу» для i, j -го елементу ІК; якщо елемент ui_{ij} матриці UI був порожній, то відповідний елемент матриці $UITDT$ встановлюється рівним -1;

5) за допомогою айтрекеру відбувається підрахунок метрики «кількість фіксацій уваги користувача на елементі інтерфейсу» для кожного елементу ui_{ij}; значення метрик для кожного елементу ІК записуються у матрицю:

$$UINF = \begin{vmatrix} nf_{11} \ldots nf_{1j} \ldots nf_{1n} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ nf_{i1} \ldots nf_{ij} \ldots nf_{in} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ nf_{m1} \ldots nf_{mj} \ldots nf_{mn} \end{vmatrix}, \quad (7)$$

де nf_{ij} – значення метрики «кількість фіксацій уваги користувача на елементі інтерфейсу» для i, j -го елементу ІК; якщо елемент ui_{ij} матриці UI був порожній, то відповідний елемент матриці $UINF$ встановлюється рівним -1;

6) за допомогою айтрекеру відбувається підрахунок метрики «середня тривалість фіксації уваги користувача на елементі ІК» для кожного елементу ui_{ij}; значення метрик для кожного елементу ІК записуються у матрицю:

$$UIAFT = \begin{vmatrix} aft_{11} \ldots aft_{1j} \ldots aft_{1n} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ aft_{i1} \ldots aft_{ij} \ldots aft_{in} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ aft_{m1} \ldots aft_{mj} \ldots aft_{mn} \end{vmatrix}, \quad (8)$$

де aft_{ij} – значення метрики «середня тривалість фіксації уваги користувача на елементі ІК» для i, j -го елементу ІК; якщо елемент ui_{ij} матриці UI був порожній, то відповідний елемент матриці $UIAFT$ встановлюється рівним -1;

7) за допомогою айтрекеру відбувається підрахунок метрики «кількість зорових візитів на елемент ІК як ціль до його обрання» для кожного елементу ui_{ij}; значення метрик для кожного елементу ІК записуються у матрицю:

$$UINVV = \begin{vmatrix} nvv_{11} \ldots nvv_{1j} \ldots nvv_{1n} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ nvv_{i1} \ldots nvv_{ij} \ldots nvv_{in} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ nvv_{m1} \ldots nvv_{mj} \ldots nvv_{mn} \end{vmatrix}, \quad (9)$$

де nvv_{ij} – значення метрики «кількість зорових візитів на елемент ІК як ціль до його обрання» для i, j -го елементу ІК; якщо елемент ui_{ij} матриці UI був порожній, то відповідний елемент матриці $UINVV$ встановлюється рівним -1;

8) за допомогою айтрекеру відбувається підрахунок метрики «час від першої фіксації елементу інтерфейса до його вибору як цілі» для кожного елементу ui_{ij}; значення метрик для кожного елементу ІК записуються у матрицю:

$$UITFFST = \begin{vmatrix} tffst_{11} \ldots tffst_{1j} \ldots tffst_{1n} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ tffst_{i1} \ldots tffst_{ij} \ldots tffst_{in} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ tffst_{m1} \ldots tffst_{mj} \ldots tffst_{mn} \end{vmatrix}, \quad (10)$$

де $tffst_{ij}$ – значення метрики «час від першої фіксації елементу інтерфейса до його вибору як цілі» для i, j -го елементу ІК; якщо елемент ui_{ij} матриці UI був порожній, то відповідний елемент матриці $UITFFST$ встановлюється рівним -1;

9) за допомогою айтрекеру відбувається підрахунок метрики «час до першої фіксації уваги користувача на елементі інтерфейсу» для кожного елементу ui_{ij}; значення метрик для кожного елементу ІК записуються у матрицю:

$$UITFBF = \begin{vmatrix} tfbf_{11} \ldots tfbf_{1j} \ldots tfbf_{1n} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ tfbf_{i1} \ldots tfbf_{ij} \ldots tfbf_{in} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ tfbf_{m1} \ldots tfbf_{mj} \ldots tfbf_{mn} \end{vmatrix}, \quad (11)$$

де $tfbf_{ij}$ – значення метрики «час до першої фіксації уваги користувача на елементі інтерфейсу» для i, j -го елементу ІК; якщо елемент ui_{ij} матриці UI був порожній, то відповідний елемент матриці $UITFBF$ встановлюється рівним -1;

10) за допомогою айтрекеру відбувається підрахунок метрики «кількість фіксацій до першої фіксації уваги користувача на елементі інтерфейсу» для кожного елементу ui_{ij}; значення метрик для кожного елементу ІК записуються у матрицю:

$$UINFBF = \begin{vmatrix} nfbf_{11} \ldots nfbf_{1j} \ldots nfbf_{1n} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ nfbf_{i1} \ldots nfbf_{ij} \ldots nfbf_{in} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ nfbf_{m1} \ldots nfbf_{mj} \ldots nfbf_{mn} \end{vmatrix}, \quad (12)$$

де $nfbf_{ij}$ – значення метрики «кількість фіксацій до першої фіксації уваги користувача на елементі інтерфейсу» для i, j -го елементу ІК; якщо елемент ui_{ij} матриці UI був порожній, то відповідний елемент матриці $UITFBF$ встановлюється рівним -1;

11) відбувається інтерпретація значень метрик айтрекінгу, представлених матрицями (4)–(12), за допомогою експертів, які керуються рекомендаціями щодо інтерпретації значення кожної метрики, представленими вище; даний крок ускладнюється тим фактом, що одні й ті ж метрики можуть представляти собою різні явища в контексті різних стимулів та цілей. Наприклад, ситуація, коли респондент дивиться на об’єкт дослідження досить довго, може означати з одного боку, що об’єкт зацікавив респондента і привернув його увагу, а з іншого боку може мати місце ситуація, коли респондент зазнає труднощів у розумінні або вирішенні якоїсь задачі;

12) на основі результатів інтерпретації значень метрик айтрекінгу експерти формулюють висновки щодо зручності використання ІК та відповідності ІК гештальт-принципам.

Висновки

Одним із визначальних факторів успіху сучасних комерційних, технічних, суспільних та наукових проектів є інтерфейс користувача, який визначає ефективність людино-машинної взаємодії і сприйняття ПЗ, забезпечує доступ до функційних компонентів програми і задоволеність користувача ПЗ або його практичністю. Наразі основною задачею, яка стоїть перед розробниками ІК, є проектування гнучкого, зручного у використанні, інтуїтивно зрозумілого, орієнтованого на потреби користувачів інтерфейсу, котрий забезпечить повний доступ до функціональності ПЗ. Відтак основою для проектування ІК можуть базові принципи когнітивної психології (наприклад, гештальт-принципи), а основним критерієм успішності є зручність використання ІК. Сучасною методикою, яка застосовується при проектуванні орієнтованого на користувачів ІК є технологія eye-tracking, використання якої є обгрунтованим та доцільним при оцінюванні зручності використання ІК, а також при оцінюванні ІК на відповідність гештальт-принципам.

В статті виконано вибір метрик айтрекінгу, застосовних для оцінювання зручності використання ІК, а також для оцінювання ІК на відповідність гештальт-принципам. На основі обраних метрик розроблено метод використання технології eye-tracking у проектуванні ІК, який забезпечує: 1) оцінювання та інтерпретацію експертами значень метрик айтрекінгу, придатних для оцінювання зручності використання ІК; 2) оцінювання та інтерпретацію експертами значень метрик айтрекінгу, придатних для оцінювання ІК на відповідність гештальт-принципам; 3) експертні висновки щодо зручності використання ІК та відповідності ІК гештальт-принципам.

Перспективою для подальших досліджень авторів є підбір експертів та проведення експериментів щодо оцінювання зручності використання ІК та щодо оцінювання ІК на відповідність гештальт-принципам з використанням технології eye-tracking.

Література

1. Поморова О. В. Проектування інтерфейсів користувача : навчальний посібник / О. В. Поморова, Т. О. Говорущенко. – Хмельницький : ХНУ, 2011. – 206 с.

2. Гордеев А. А. Применение технологии айтрекинга для исследования человеко-машинного взаимодействия : учебное пособие / А. А. Гордеев, Д. В. Гордеева. – Киев : Университет банковского дела, 2017. – 188 с.

3. Гештальт прицнипы в WEB UI дизайне с примерами [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://positivecrash.com/geshtalt-princypy-web-ui-design-s-primerami/ (дата обращения 07.02.2018) – Название с экрана.

4. Web UI Design for the Human Eye: Colors, Space, Contrast. URL: https://issuu.com/fransiscustobias/docs/uxpin_web_ui_design_for_the_human_e (viewed on February 7, 2018). – Title from the screen.

5. The Gestalt Principle: Design Theory for Web Designers. URL: https://webdesign.tutsplus.com/articles/the-gestalt-principle-design-theory-for-web-designers--webdesign-1756 (viewed on February 7, 2018). – Title from the screen.

6. The Gestalt Principles. URL: http://graphicdesign.spokanefalls.edu/tutorials/process/gestaltprinciples/gestaltprinc.htm (viewed on February 7, 2018). – Title from the screen.

7. Gestalt Principles. URL: https://www.interaction-design.org/literature/topics/gestalt-principles (viewed on February 7, 2018). – Title from the screen.

8. The Law of Similarity – Gestalt Principles (1). URL: https://www.interaction-design.org/literature/article/the-law-of-similarity-gestalt-principles-1 (viewed on February 7, 2018). – Title from the screen.

9. Laws of Proximity, Uniform Connectedness, and Continuation – Gestalt Principles (2). URL: https://www.interaction-design.org/literature/article/laws-of-proximity-uniform-connectedness-and-continuation-gestalt-principles-2 (viewed on February 7, 2018). – Title from the screen.

10. The Building Blocks of Visual Design. URL: https://www.interaction-design.org/literature/article/the-building-blocks-of-visual-design (viewed on February 7, 2018). – Title from the screen.

11. Звенигородский А. С. Критерий оценки графического интерфейса на основе Гештальт принципов / А.С. Звенигородский, А. И. Шевченко, О. А. Коломыйцев // Штучний інтелект. – 2012. – № 2. – С. 40–45.

12. Бакаев М. А. Определение сложности задач для зрительно-пространственной памяти и пропускной способности человека-оператора / М. А. Бакаев, О. М. Разумникова // Управление большими системами. – 2017. – Выпуск 70. – С. 25–57.

13. Vicentiy A. V. The Development of Dynamic Cognitive Interfaces for Multisubject Information Systems (on the Example of Geosocial Service) / A. V. Vicentiy, M. G. Shishaev, I. V. Vicentiy // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2017. – Vol. 575. – P. 449–459.

14. Flach J. Supporting productive thinking: The semiotic context for Cognitive Systems Engineering (CSE) / J. Flach // Applied Ergonomics. – 2017. – Vol. 59. – P. 612–624.

15. Sani SM. Minimalism in Designing User Interface of Commercial Websites Based on Gestalt Visual Perception Laws / SM. Sani, YK. Shokooh // 2016 Second International Conference on WEB Research (ICWR), April 27-28, 2016: Proceedings. – Tehran (Iran), 2016. – P. 115–124.

16. Moller B. What should a corporate website look like? The influence of Gestalt principles and visualisation in website design on the degree of acceptance and recommendation / B. Moller, C. Brezing, D. Unz // Behaviour & Information Technology. – 2012. – Vol. 31. – Issue 7. – P. 739–751.

17. Chang D. The Gestalt principle of continuation applies to both the haptic and visual grouping of elements / D. Chang, KV. Nesbitt, K. Wilkins // Second Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, March 22–24, 2007: Proceedings. – Tsukuba (Japan), 2007.

18. Zhou XZ. An Evaluation Method of Visualization Using Visual Momentum Based on Eye-Tracking Data / XZ. Zhou, CQ. Xue, L. Zhou, YF. Niu // International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence. – 2018. – Vol. 32. – Issue 5.

19. Kim H. Multi-modal user interface combining eye tracking and hand gesture recognition / H. Kim, K. Suh, E. Lee // Journal on Multimodal User Interfaces. – 2017. – Vol. 11. – Issue 3. – P. 241–250.

20. Zhang XB. Eye Tracking Based Control System for Natural Human-Computer Interaction / XB. Zhang, XL. Liu, SM. Yuan, SF. Lin // Computational Intelligence and Neuroscience. – 2017. – Vol. 2017.

21. Fu B. Eye tracking the user experience – An evaluation of ontology visualization techniques / B. Fu, NF. Noy, MA. Storey // Semantic Web. – Vol. 8. – Issue 1. – P. 23–41.

22. Rodas CM. INTERFACE SEARCH GOOGLE AND YAHOO: the user experience from the viewpoint of eye tracking / CM. Rodas, SABG. Vidotti, SD. Monteiro // Informacao & Sociedade-Estudos. – 2016. – Vol. 26. – Issue 2. – P. 37–50.

References

1. O. V. Pomorova, T. O. Hovorushchenko. Proektuvannya interfeysiv korystuvacha: Navchalnyi posibnyk. – Khmelnytskyi: KhNU, 2011. – 206 s.

2. A. Gordeyev, D. V. Gordeyeva. Primenenie tekhnologii eye-tracking dlya issledovaniya cheloveko-mashinnogo vzaimodeystviya: Uchebnoe posobie. – Kiev: Universitet bankovskogo dela, 2017. – 188 s.

3. Gestalt-principi v WEB UI dizayne s primerami // [Elektronnyi resurs]: [Web-site]. – Elektronniye danniye. – Regim dostupa http://positivecrash.com/geshtalt-princypy-web-ui-design-s-primerami/ (data obrashcheniya 07.02.2018) – Nazavanie s ekrana.

4. Web UI Design for the Human Eye: Colors, Space, Contrast [Electronic resource]: [Web-site]. – Electronic data. – Mode of access: https://issuu.com/fransiscustobias/docs/uxpin_web_ui_design_for_the_human_e (viewed on February 7, 2018). – Title from the screen.

5. The Gestalt Principle: Design Theory for Web Designers [Electronic resource]: [Web-site]. – Electronic data. – Mode of access: https://webdesign.tutsplus.com/articles/the-gestalt-principle-design-theory-for-web-designers--webdesign-1756 (viewed on February 7, 2018). – Title from the screen.

6. The Gestalt Principles [Electronic resource]: [Web-site]. – Electronic data. – Mode of access: http://graphicdesign.spokanefalls.edu/tutorials/process/gestaltprinciples/gestaltprinc.htm (viewed on February 7, 2018). – Title from the screen.

7. Gestalt Principles [Electronic resource]: [Web-site]. – Electronic data. – Mode of access: https://www.interaction-design.org/literature/topics/gestalt-principles (viewed on February 7, 2018). – Title from the screen.

8. Laws of Proximity, Uniform Connectedness, and Continuation – Gestalt Principles (2) [Electronic resource]: [Web-site]. – Electronic data. – Mode of access: https://www.interaction-design.org/literature/article/laws-of-proximity-uniform-connectedness-and-continuation-gestalt-principles-2 (viewed on February 7, 2018). – Title from the screen.

9. The Building Blocks of Visual Design [Electronic resource]: [Web-site]. – Electronic data. – Mode of access: https://www.interaction-design.org/literature/article/the-building-blocks-of-visual-design (viewed on February 7, 2018). – Title from the screen.

10. The Law of Similarity – Gestalt Principles (1) [Electronic resource]: [Web-site]. – Electronic data. – Mode of access: https://www.interaction-design.org/literature/article/the-law-of-similarity-gestalt-principles-1 (viewed on February 7, 2018). – Title from the screen.

11. S. Zvenigorodskiy, A. I. Shevchenko, O. A. Kolomyitsev. Kriteriy otsenki graphicheskogo interfeisa na osnove Gestalt principov // Shtuchnyi intelekt. – 2012. – No. 2. – S. 40-45.

12. M. A. Bakayev, O. M. Razumnikova. Opredelenie slojnosti zadach dlya zritelno-prostranstvennoy pamyati i propusknoy sposobnosti cheloveka-operatora // Upravlenie bolshimi sistemami. – 2017. – Vypusk 70. – S. 25-57.

13. V. Vicentiy, M. G. Shishaev, I. V. Vicentiy. The Development of Dynamic Cognitive Interfaces for Multisubject Information Systems (on the Example of Geosocial Service) // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2017. – Vol. 575. – Pp. 449-459.

14. J. Flach J. Supporting productive thinking: The semiotic context for Cognitive Systems Engineering (CSE) // Applied Ergonomics. – 2017. – Vol. 59. – Pp. 612-624.

15. SM. Sani, YK. Shokooh. Minimalism in Designing User Interface of Commercial Websites Based on Gestalt Visual Perception Laws // 2016 Second International Conference on WEB Research (ICWR), April 27-28, 2016: Proceedings. – Tehran (Iran), 2016. – Pp. 115-124.

16. Moller, C. Brezing, D. Unz. What should a corporate website look like? The influence of Gestalt principles and visualisation in website design on the degree of acceptance and recommendation // Behaviour & Information Technology. – 2012. – Vol. 31. – Issue 7. – Pp. 739-751.

17. Chang, KV. Nesbitt, K. Wilkins. The Gestalt principle of continuation applies to both the haptic and visual grouping of elements // Second Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, March 22-24, 2007: Proceedings. – Tsukuba (Japan), 2007.

18. XZ. Zhou, CQ. Xue, L. Zhou, YF. Niu. An Evaluation Method of Visualization Using Visual Momentum Based on Eye-Tracking Data // International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence. – 2018. – Vol. 32. – Issue 5.

19. H. Kim, K. Suh, E. Lee. Multi-modal user interface combining eye tracking and hand gesture recognition // Journal on Multimodal User Interfaces. – 2017. – Vol. 11. – Issue 3. – Pp. 241-250.

20. XB. Zhang, XL. Liu, SM. Yuan, SF. Lin. Eye Tracking Based Control System for Natural Human-Computer Interaction // Computational Intelligence and Neuroscience. – 2017. – Vol. 2017.

21. Fu, NF. Noy, MA. Storey. Eye tracking the user experience – An evaluation of ontology visualization techniques // Semantic Web. – Vol. 8. – Issue 1. – Pp. 23-41.

22. CM. Rodas, SABG. Vidotti, SD. Monteiro. INTERFACE SEARCH GOOGLE AND YAHOO: the user experience from the viewpoint of eye tracking // Informacao & Sociedade-Estudos. – 2016. – Vol. 26. – Issue 2. – Pp. 37-50.

Рецензія/Peer review : 12.02.2018 р. Надрукована/Printed :24.03.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Р.В.Сорокатий

УДК 004.04

Н.Г. ШИРМОВСЬКА, Т.О. ВАВРИК, Г.І. ЛЕВИЦЬКА, І.Р. МИХАЙЛЮК
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСКРЕТИЗАЦІЇ ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВИХ ПОВІДОМЛЕНЬ НА ОСНОВІ АВТОКОРЕЛЯЦІЙНИХ ФУНКЦІЙ У БАЗИСІ РАДЕМАХЕРА

У статті викладено теоретичні засади та проведено дослідження формування цифрових відліків на основі кореляційних функцій у теоретико-числовому базисі Радемахера, що дозволило обґрунтувати характеристики переваг та недоліків використання базису Радемахера в задачі ідентифікації станів об'єкта.

Ключові слова: теоретико-числовий базис, дискретизація, автокореляційна функція, інформаційний потік.

N.G. SHYRMOVSKA, T.A. VAVRYK, G.I. LEVYTSKA, I.R. MUHAJLUK
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

THEORETICAL SUBSTANCES AND REASONING OF INFORMATION CHARACTERISTICS OF DISCRETION OF FORMATION OF DIGITAL MESSAGES BASED ON AUTOCORRELLATION FUNCTIONS IN THE RADEMAKER BASIS

Theoretical numerical bases are the fundamental theoretical foundations of numerical systems and data encoding methods. The choice of the basis function is performed depending on the systemic characteristics of the various communication channels and the operating conditions of the computer systems. In modern computer and telecommunication systems, widely used are theoretical numerical bases on the foundation of discrete piecewise linear functions, which provide a drastically simpler implementation of digital generators, as well as simplify algorithms for digital signal reception. This article describes the theoretical principles and conducts research on the formation of digital samples based on the correlation functions in the theoretic-numerical basis of Rademacher, which allowed to substantiate the characteristics of advantages and disadvantages for using the Rademacher basis in the problem of identifying the states of the object. Presented theoretical principles and research on the formation of digital samples, based on the correlation functions in the theoretical numerical basis of Rademacher, allowed to prove the characteristics of the advantages and disadvantages of using the Rademacher basis in the problem of identifying the states of the object, and they are an important reserve for the development of the theory and the improvement of diagnostic tools for the quasi-stationary objects.

Keywords: theoretical numerical basis, discretization, autocorrelation function, information flow.

Комп'ютерні системи та мережі широко впроваджуються у всі сфери суспільства. Важливим при цьому є створення проблемно-орієнтовних та спеціалізованих розподілених комп'ютерних систем для різних об'єктів і галузей промисловості. Актуальними задачами, що вирішують системи даного класу є оперативне діагностування технологічних об'єктів, які характеризуються нестаціонарністю, багатопараметричністю, екологічною небезпечністю, вибухонебезпечністю та ін. Особливо важливою задачею є прогнозування, передбачення та діагностування передаварійних та аварійних станів об'єктів управління (ОУ).

1. Теоретичні засади кодування інформаційних потоків у теоретико-числовому базисі Радемахера

В сучасних розподілених комп'ютерних системах реального часу найбільш широко використовуються методи формування та кодування інформаційних потоків у двійковій системі числення, тобто теоретико-числовому базисі (ТЧБ) Радемахера [1, 2]. При цьому, вхідні аналогові сигнали багатоканального аналого-цифрового перетворювача (БАЦП) перетворюються в інформаційні потоки даних. В залежності від використання різних типів БАЦП цифрові відліки X_{ij}, де i – часовий номер відліка, j – номер каналу, можуть формуватися одночасно або послідовно на деякому інтервалі дискретизації Δt (рис. 1).

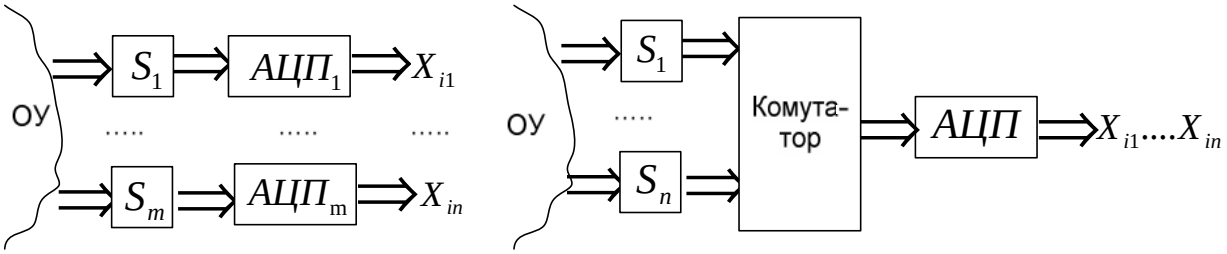


Рис. 1. Формування інформаційних потоків у ТЧБ Радемахера з різними типами БАЦП

При цьому формується інформаційна матриця цифрових відліків, які описують стан ОУ в деякий момент часу:

$$\begin{vmatrix} X_{11} & X_{21} & \dots & X_{i1} & \dots & X_{n1} \\ X_{12} & X_{22} & \dots & X_{i2} & \dots & X_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{1j} & X_{2j} & \dots & X_{ij} & \dots & X_{nj} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{1m} & X_{2m} & \dots & X_{im} & \dots & X_{nm} \end{vmatrix}.$$

На рис. 2 показаний приклад формування цифрових відліків.

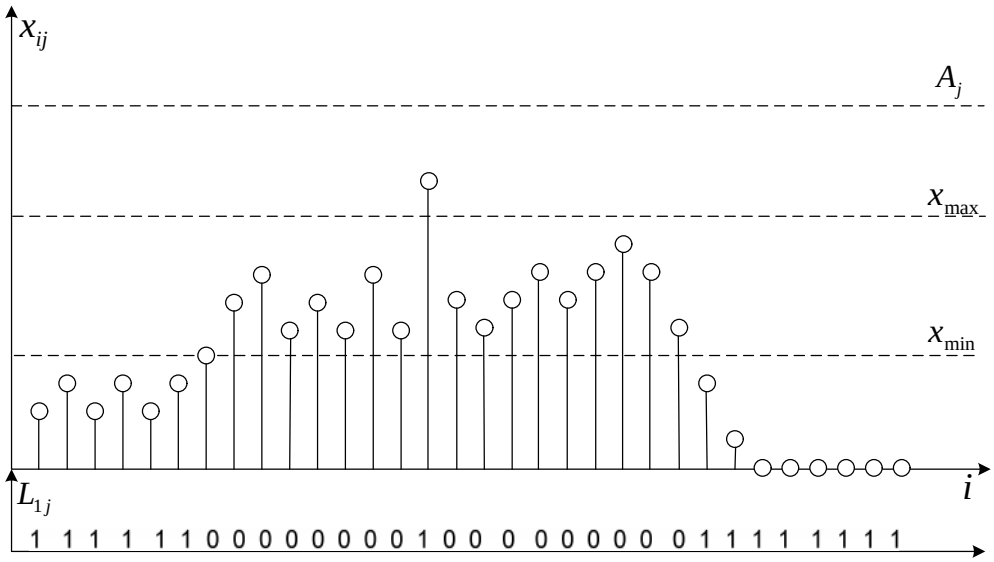


Рис. 2. Формування цифрових відліків

Операція ідентифікації стану ОУ на основі логіко-статистичних інформаційних моделей (ЛСІМ-1) у ТЧБ Радемахера виконується згідно виразів:

$$\begin{aligned} &L_{1j} = 0, x_{\max} - x_{ij} > 0 \wedge x_{ij} - x_{\min} > 0; \\ &L_{1j} = 1, x_{\max} - x_{ij} \le 0 \wedge x_{ij} - x_{\min} \le 0. \end{aligned} \quad (1)$$

В той же час в процесорах Радемахера, з метою спрощення його апаратної складності, операція замінена операцією додавання доповнюючих кодів, тобто вираз (1) отримає вигляд:

$$L_{1j} = 0, [x_{\max}]_\partial + [x_{ij}]_\partial > 1 \wedge [x_{ij}]_\partial + [x_{\min}]_\partial > 1;$$

$$L_{1j} = 1, [x_{\max}]_\partial + [x_{ij}]_\partial \le 1 \wedge [x_{ij}]_\partial + [x_{\min}]_\partial \le 1,$$

що потребує додаткового представлення двійкових кодів ТЧБ Радемахера в доповнюючому коді шляхом інвертування кодів від'ємних значень та додавання до їхнього розряду 1.

Крім того, великий рівень шумів та різнохарактерних впливів на мікроелектронні засоби показує, що кодові значення шумів можуть складати 20-30% істинних значень контрольованих параметрів буріння [3]. Цей недолік практично унеможливлює ефективність діагностування та виявлення передаварійних та аварійних ситуацій на об'єктах, що потребує використання інтегрованих характеристик вибіркового та ковзного математичних сподівань, а також розрахунку нормальних коефіцієнтів взаємокореляції між параметрами для побудови кластерних моделей.

2. Дослідження інформаційних характеристик дискретизації формування цифрових повідомлень на основі автокореляційних функцій у базисі Радемахера

Аналіз інформаційної технології кодування даних у ТЧБ Радемахера дозволяє сформулювати наступні функціональні обмеження та недоліки цього базису. Недоліками ТЧБ Радемахера є:

Великий об'єм інформації даних, які опрацьовуються системою з ентропією об'єму, яка обчислюється за формулою Хартлі:

$$I_{OY} = n \sum_{j=1}^{m} \hat{E}[\log_2 A_j],$$

$$0 \le x_j \le A_j.$$

Наприклад, $0 \le x_j \le 1023, n = 128, I_{OY} = 128 \cdot 10 = 1028 б/с \approx 1 кбіт/с.$

Різна інформативність кожного інформаційного біта цифрового відліку x_{ij}. Тобто при виникненні помилки в одному з бітів відбувається різний рівень втрат інформації.

$$[x_i]_R = a_{k-1}2^{n-1} + a_{k-2}2^{n-2} + ... + a_1 2^1 + a_0.$$

Наприклад, при $K = 10$ втрата інформації в молодшому біті складає $0{,}001\%$, а втрата старшого біта $0{,}5\%$.

Абсолютна незахищеність кодів ТЧБ Радемахера від помилок, оскільки кожний біт відліку є інформативним.

Надлишковість кодування інформації, що приводить до зростання об'ємів інформаційних потоків, які опрацьовує комп'ютерна система. Це обумовлено тим, що діапазон квантування в БАЦП вибирається відповідно до максимального значення одного з контрольованих параметрів, в той час, коли багато параметрів мають менший діапазон квантування.

Наявність надлишкової інформації небажане, тому що канал зв'язку зайнятий на більш довгий час, ніж необхідно, або ж потрібні канали із більшою пропускною здатністю. При зберіганні надлишкової інформації збільшується необхідний об'єм пам'яті, зростає час пошуку та зчитування даних, а при обробці даних зростає час обробки.

Якість способу дискретизації, згідно якого відбираються відліки, слід оцінювати за похибкою, з якою вдається відновити вихідну функцію. Критеріями, в яких похибка відновлення сигналу наближується до нуля, є:

- частотний критерій В.А. Котельникова, в якому інтервали між відліками вибирають із врахуванням частотного спектра сигналу, що підлягає дискретизації;
- кореляційний критерій Н.А. Желєзнова, що встановлює зв'язок інтервалів між відліками з інтервалом кореляції сигналу;
- квантовий критерій Ф.Е. Темнікова, що вказує на залежність інтервалів між відліками за степенем квантування за рівнем та крутизною (першої похідної) сигналу.

Частіше за все при оцінці відхилення функції $Y(t)$, що відтворюється, від вихідного сигналу $X(t)$ на кожному інтервалі дискретизації $[0,T]$ використовують такі критерії: критерій найбільшого відхилення, середньоквадратичний, інтегральний, ймовірнісно-зональний. Як правило, неперервні функції не можуть мати обмежений спектр, тому, для сигналів обмеженої протяжності теорема Котельникова не може бути застосована. Критерій Желєзнова, що вводить поняття про середні характеристики сигналу, обмежує кінцеву точність відновлення функції структурою кореляційної функції та відношенням $t(ocp)/t$. Квантовий критерій Темнікова зводить похибку відновлення вихідної неперервної функції з обмеженими похідними поліномами Лагранжа до залишкового члена.

У більшості практичних випадків оптимальна обробка сигналів є ускладненою, це потребує розробки методів оцінки точності представлення даних. Оптимальною будемо називати дискретизацію, в процесі якої вихідна функція із заданою точністю може бути представлена мінімальною кількістю відліків $X(t)$. В цьому випадку всі відліки є суттєвими для відновлення вихідної інформації. Розглянемо дискретизацію випадкових стаціонарних сигналів та синтез розкладу на основі узагальненого ряду Фур'є. Вважатимемо, що кореляційна функція випадкового сигналу $R(t)$ відома, а ефективний інтервал кореляції $\tau_0 << T$, де $[0,T]$ – час існування реалізації сигналу. Як критерій вірності використаємо функціонал [1]:

$$\nu = \frac{1}{T}\int_0^T M\left\{\Delta^2(t)\right\}dt\ , \tag{2}$$

де $\Delta(t) = f(t) - f_N(t)$ – похибка при заміні сигналу $f(t)$ функцією розкладу $f_N(t)$. Будемо вважати, що функція $f(t)$ інтегрується разом із своїм квадратом на інтервалі $[0,T]$. Мінімум середньо квадратичної похибки при обмеженому числі членів розкладу $N = T/\tau$ (τ – інтервал дискретизації) досягнутий у випадку представлення функції $f(t)$ відрізком ряду Фур'є в системі ортогональних функцій $\{\varphi_k(t)\}$:

$$f_N(t) = \sum_{k=0}^{N-1} a_k \varphi_k(t) \tag{3}$$

Без втрати сутності можна рахувати математичним очікуванням сигналу $M\{f(t)\} = 0$, а його нормою $|f(t)| = 1$. Підставляючи (2) в (1), отримаємо:

$$\nu = 1 - \frac{2}{\tau}\int_0^\tau \varphi(t)\int_0^\tau \varphi(x)R(t,x)dxdt + \int_0^\tau \varphi^2(t)\int_0^\tau \varphi(x)\int_0^\tau \varphi(y)R(x,y)dxdydt \tag{4}$$

Мінімум (3) з врахуванням показника якості $\lambda = \lambda_1$, де $\lambda_i < \lambda_{i+1}$, $i = \overline{1,m}$ на основі (4) буде таким:

$$\nu = 1 - \frac{1}{\tau \cdot \lambda_1}.$$

Тоді мінімальна похибка, що досягається при розкладі сигналу $f(t)$ на обмеженому інтервалі

$i=\overline{1,n}$:

$$\nu = 1 - \frac{1}{\tau}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{\lambda_i}.$$

Зрозуміло, що для будь-яких функцій розкладу випадкових сигналів з необмеженим спектром помилка розкладу залежить від виду функції кореляції $R(t)$ та інтервалу дискретизації. Порівнювати функції розкладу можна за коефіцієнтом надлишковості $\gamma = N/N_0$, де $N_0 = T/\tau_0$ – число некорельованих в середньому відліків, $N = T/\tau$ – число відліків, яке необхідне для досягнення заданої похибки. З врахуванням N та N_0 коефіцієнт надлишковості буде рівний $\gamma = \tau/\tau_0$. Найкращим слід вважати розклад, який при однаковій похибці вимагає меншого коефіцієнта надлишковості. Найбільш простим є визначення критерію вірності при:

$$R(t) = \begin{cases} 1 - \dfrac{|t|}{\tau_0}, & |t| < \tau_0; \\ 0, & при\ інших\ \mathrm{t} \end{cases}.$$

Для обміну даними в рамках інформаційної системи бурового виробництва (ІСБВ), а також організації діалогу з операторами термінальних пунктів управління технологічними процесами на рівні бурової, з'являється вимога видачі інформації планово-економічного та технологічного характеру в стандартному коді представлення алфавітно-цифрової інформації в реальному часі. На перешкоді стала величезна надлишковість інформації, що поступала переважно в аналоговому вигляді. З метою оптимізації відбору інформації, компактного представлення, передачі та зберігання, введений характеристичний параметр L, що являє собою зручну оцінку втрати повідомлень, зумовлених дискретизацією процесу. На основі оцифрованих значень параметрів технологічного процесу буріння, що підлягали контролю та запису на самопишучі прилади безпосередньо на буровій, були побудовані графіки нормованої автокореляційної функції процесів $R_{xx}(t)$. Побудова виконувалася з наперед надлишково заданих значень $Y(t)$, $t = 1{,}900$, а кількість $R_{xx}(t)$, $t = 1,k$, де k – число точок автокореляційної функції, причому $R_{xx}(k) < 0.01R_{xx}(0)$. Тоді можна записати:

$$L = \frac{\sqrt{2}}{\Delta\xi}\sqrt{1 - R_{xx}(t)}, \tag{5}$$

де $\Delta\zeta = \Delta y/\sigma$ – приведене (нормоване) значення запасу норми;

$\Delta y = y_{t+1} - y_t$ – приріст поточної ординати по відношенню до наступної на інтервалі дискретизації;

σ – середньоквадратичне відхилення параметра, що контролюється.

На підставі (5), коли відома автокореляційна функція $R_{xx}(t)$ або хоча б її початкова ділянка, з врахуванням мінімально допустимої похибки [2], знаходимо $y_{доп}$ – допустимий крок дискретизації, як абсцису перетину графіка $R_{xx}(t)$ з прямою, паралельною вісі абсцис, віддаленою від дотичної $R_{xx}(1)$ на значення $0.045\Delta y$.

Оскільки всі етапи обчислень виконуються на комп'ютері, розглянемо аналітичний підхід визначення кроку дискретизації з графіка автокореляційної функції, показаного на рис. 3.

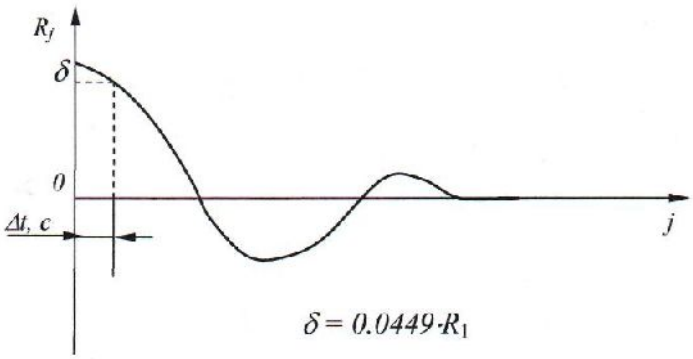


Рис. 3. Графік автокореляційної функції

Перш за все визначаємо, в межах якого інтервалу точок $R_{xx}(t)$, $R_{xx}(t+1)$ знаходиться величина $y = R_{xx}(1) - 0.045R_{xx}(1)$. Запишемо рівняння прямої, яка проходить через точки визначеного інтервалу $R_{xx}(t)$, $R_{xx}(t+1)$:

$$\frac{t-t_i}{t_{i+1}-t_i}=\frac{R_{xx}-R_{xx}(i)}{R_{xx}(i+1)-R_{xx}(i)}.$$

Підставивши замість R_{xx} значення кроку дискретизації y, отримаємо:

$$\Delta t=\frac{\delta-R_{xx}(i)(t_{i+1}-t_i)}{\left|R_{i+1}-R_i\right|}+t_i=\frac{0.955\cdot R_{xx}(1)-R_{xx}(i)(t_{i+1}-t_i)}{\left|R_{i+1}-R_i\right|}+t_i.$$

При вхідних даних початок нумерації матриць, кількість точок дискретизації, ранжована змінна, відповідають значенням $ORIGIN=1$, $n=24$, $i=1,2....n$.

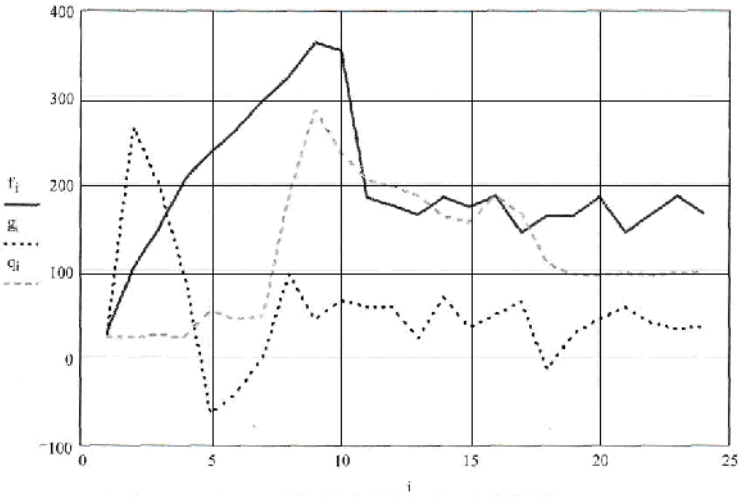


Рис. 4. Графіки зміни параметрів, що досліджуються в часі

Обчислюємо математичні сподівання цих функцій:

$$M(f)=\frac{1}{n}\cdot\sum_{i=1}^{n}f_i;$$

$M(f)=196.625$; $M(g)=52.875$; $M(q)=121.042$.

Визначаємо центровані значення координат для цих функцій:

$F_i=f_i-M(f)$; $G_i=g_i-M(g)$; $Q_i=q_i-M(q)$.

Обчислюємо значення автокореляційних функцій: $j=1,2..n-1$

$$R_j=\frac{1}{n-j}\cdot\sum_{i=1}^{n-j}(F_i\cdot F_{i+j});$$

$$K_j=\frac{1}{n-j}\cdot\sum_{i=1}^{n-j}(G_i\cdot G_{i+j});$$

$$W_j=\frac{1}{n-j}\cdot\sum_{i=1}^{n-j}(Q_i\cdot Q_{i+j}).$$

В результаті розрахунків отримаємо:

$R_1=4.203\times10^3$; $K_1=1.735\times10^3$; $W_1=4.49\times10^3$.

Обчислюємо необхідну кількість значень автокореляційних функцій:

$$k(F)=\left|\begin{array}{l} i\leftarrow1 \\ \text{while } F_i\geq0.01\cdot F_1 \\ i\leftarrow i+1 \\ i \end{array}\right. \qquad \begin{array}{l} k(R)=4 \\ k(K)=2. \\ k(W)=5 \end{array}$$

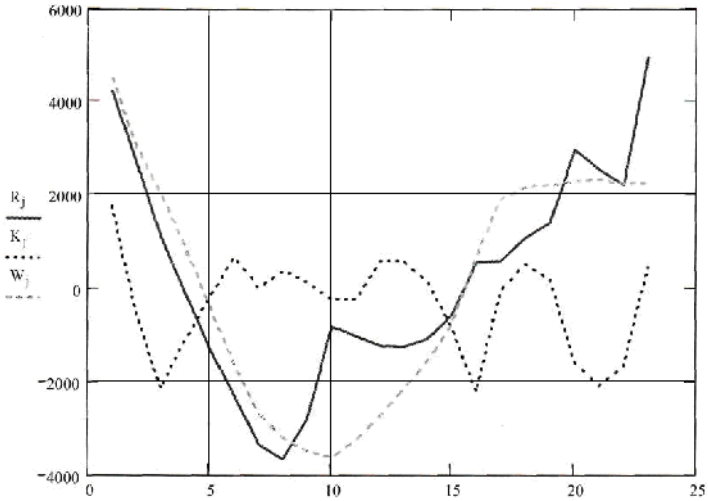


Рис. 5. Графіки автокореляційних функцій

Обчислюємо крок дискретизації для цих функцій:

$$\Delta t(F,k) = \left| \begin{array}{l} i \leftarrow 1 \\ t \leftarrow \dfrac{0.9551 \cdot F_1 - F_j}{\left|F_{j+1} - F_j\right|} + j \ \ if \ \ F_{j+1} < 0.9551 \cdot F_1 \\ t \end{array} \right. .$$

Результати розрахунку: $\Delta t(R,k(R)) = 7.519$; $\Delta t(K,k(K)) = 3.374$; $\Delta t(W,k(W)) = 8.8$.

В існуючих комп'ютерних системах оцифровування відбувається через рівні проміжки часу. Проте, в реальних аналогово-цифрових перетворювачах (АЦП) час моменту оцифровування схильний до відхилень через тремтінням фронту синхронізуючого сигналу (clock jitter). Вважаючи, що невизначеність моменту часу узяття відліку порядку A_t, одержуємо, що помилка, зумовлена цим явищем, може бути оцінена як

$$E_{a\delta} \le \left|\delta'(t)\Delta t\right| \le 2 \cdot A \cdot \pi \cdot f_0 \cdot \Delta t .$$

Легко побачити, що помилка відносно невелика на низьких частотах, проте на великих частотах вона може істотно зрости.

Ефект апертурної похибки може бути проігнорований, якщо її величина порівняно невелика в порівнянні з помилкою квантування. Таким чином, можна встановити наступні вимоги до тремтіння фронту сигналу синхронізації:

$$\Delta t < \frac{1}{2^n \cdot \pi \cdot f_0},$$

де π – розрядність АЦП; Δt – час тремтіння сигналу; f_0 – частота сигналу.

Таблиця 1

Вимоги до часу тремтіння фронту сигналу

Розрядність АЦП	Максимальна частота вхідного сигналу				
	44.1 кГц	192 кГц	1 Мгц	10 Мгц	100 Мгц
8	28.2 нс	6.48 нс	1.24 нс	124 пс	12.4 пс
10	7.05 нс	1.62 нс	311 пс	31.1 пс	3.11 пс
12	1.76 нс	405 пс	77.7 пс	7.77 пс	777 фс
14	441 пс	101 пс	19.4 пс	1.94 пс	194 фс
16	441 пс	101 пс	19.4 пс	1.94 пс	194 фс
18	27.5 пс	25.3 пс	4.86 пс	486 фс	48.6 фс
24	430 фс	98.8 фс	19.0 фс	1.9 фс	190 ас

З цієї таблиці можна зробити висновок про доцільність використання АЦП певної розрядності з урахуванням обмежень, що накладаються на час тремтіння фронту синхронізації (clock jitter).

Як правило, сигнали оцифровуються з мінімально необхідною частотою дискретизації з міркувань економії, при цьому шум квантування є білим, тобто його спектральна густина потужності рівномірно розподілена у всій смузі. Якщо ж оцифрувати сигнал з частотою дискретизації набагато більшої, ніж по теоремі Котельникова-Шеннона, а потім піддати цифровій фільтрації для придушення спектру зовні

частотної смуги початкового сигналу, то відношення сигнал/шум буде кращим, ніж при використанні всієї смуги. Таким чином можна досягти ефективної роздільної здатності більшої, ніж розрядність АЦП.

Передискретизація також може бути використана для пом'якшення вимог до крутизни переходу від смуги пропускання до смуги придушення антиаліасінгового фільтру. Для цього сигнал оцифровують (наприклад, на вдвічі більшій частоті), потім проводять цифрову фільтрацію, пригнічуючи частотні компоненти зовнішньої смуги початкового сигналу, і, нарешті, знижують частоту дискретизації шляхом децимації.

Низький рівень інформативних кодів базису Радемахера, які включають істинні значення контрольованих параметрів плюс адитивні завади.

$$x_i = x_{i0} \pm \delta_i,$$

де x_{i0} – істинне значення контрольованих параметрів, δ_i – адитивна завада.

Спосіб реєстрації параметрів ОУ на основі БАЦП з часовим зміщенням вимірювання шляхом комутації параметрів призводить до появи ефекту старіння інформації, оскільки параметри не реєструються одночасно, що приводить до суттєвої втрати інформативної кореляції файлів та процесів обчислення матриць, коефіцієнту взаємної кореляцій, на основі яких будуються кластерні моделі виявлення та ідентифікації передавальних та аварійних ситуацій.

Оскільки двійкова система числення належить до позиційних систем числення, то при використанні операцій додавання чи віднімання в акумуляторі процесів виникають наскрізні переноси, що знижує швидкодію процесорів діагностування можливих передаварійних та аварійних ситуації на ОУ.

Висновки

Викладені теоретичні засади та дослідження формування цифрових відліків на основі кореляційних функцій у теоретико-числовому базисі Радемахера, дозволили обґрунтувати характеристики переваг та недоліків використання базису Радемахера в задачі ідентифікації станів об'єкта та є важливим резервом розвитку теорії та вдосконалення засобів діагностування квазістаціонарних об'єктів.

Література

1. Асташкин С. В. Функции Радемахера в симметричных пространствах / С. В. Асташкин // Функциональный анализ. – М., 2009. – С. 3–161.

2. Николайчук Я. М. Теорія джерел інформації : монографія / Николайчук Я. М. – Тернопіль : ТНЕУ, Економічна думка, 2008. – 396 с.

3. Ширмовська Н.Г. Оптимальна дискретизація заданих кореляційною функцією сигналів / Н.Г. Ширмовська // Методи та прилади контролю якості. – 2009. – № 22. – С. 107–111.

References

1. Astashkin S. V. Funkcii Rademahera v simmetrichnyh prostranstvah / S. V. Astashkin // Funkcional'nyj analiz. – M., 2009. – S. 3–161.

2. Nikolajchuk Ja. M. Teorija dzherel informacії : monografija / Nikolajchuk Ja. M. – Ternopil' : TNEU, Ekonomichna dumka, 2008. – 396 s.

3. Shirmovs'ka N.G. Optimal'na diskretizacija zadanih koreljacijnoju funkcieju signaliv / N.G. Shirmovs'ka // Metodi ta priladi kontrolju jakosti. – 2009. – № 22. – S. 107–111.

Рецензія/Peer review : 22.02.2018 р. Надрукована/Printed :28.03.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. М.І. Горбійчук

УДК 004.522

А.А. МЯСИЩЕВ
Хмельницкий национальный университет

АВТОРИЗАЦИЯ НА WEB-СЕРВЕРЕ ARDUINO ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ ИНТЕРНЕТ

Рассматривается возможность построения web-сервера для управления оборудованием и получением данных с различных датчиков через сеть Интернет. Указывается на то, что для удаленного управления необходимо проводить авторизацию. В противном случае оборудование будет не защищено от несанкционированного доступа пользователей сети Интернет. Отмечается, что управляющие web-сервера создаются на базе микроконтроллеров, которые имеют малые ресурсы и не в состоянии работать с протоколами HTTPS, SSL, TLS. Поэтому эти сервера являются уязвимыми со стороны сетевых атак. В работе рассмотрено создание web-сервера на Arduino, который использует авторизацию на основе GET и POST запросов, а также модернизированную HTTP basic authentication. Модернизация состоит в том, что для авторизации используется пароль из списка паролей, который выбирается пользователем на основании ключа, пересылаемого сервером. При каждом новом входе на сервер предыдущий пароль становиться недействительным. Представлен практический пример web-сервера на Arduino Mega, на котором установлены три светодиода, имитирующие включение-выключение 3-х силовых источников питания (например, электра-розеток), датчик температуры DS18B20, датчик влажности и температуры DHT 11 и барометрический датчик BMP280. Сервер тестировался с тремя контроллерами Ethernet: enc28j60, W5100 и w5500. Для этого использовались три библиотеки: UIPEthetnet, Ethernet и Ethernet2, которые показали одинаковые результаты работы. Установлено, что авторизация на сервере Arduino с использованием метода запроса GET является нецелесообразной, так как при использовании форм ввода с полями для пароля коды открыто высвечиваются в адресной строке. Авторизация с использованием метода POST скрывает передаваемые коды. Но коды передаются по сети в открытой форме, поэтому их можно перехватить с помощью программ снифферов. Использование протоколов HTTPS, SSL, TLS позволяет сделать такую авторизацию безопасной. Программа, реализующая web-сервер Arduino, составлена в среде разработки Arduino IDE ver. 1.8.6.

Ключевые слова: Arduino, Ethernet Shield Arduino, ENC28J60, W5100, W5500, протокол HTTPS, SSL, TLS, GET и POST запросы, base64-encoded, basic authentication, web-server, микроконтроллер.

A.A. MYASISCHEV
Khmelnytsky National University

AUTHORIZATION ON WEB SERVER ARDUINO FOR CONTROLLING THROUGH THE INTERNET

The possibility of building a web server for controlling equipment and obtaining data from various sensors via the Internet is considered. It is indicated that authorization is necessary for remote management. Otherwise, the equipment will not be protected from unauthorized access of Internet users. It is noted that the managing web servers are created on the basis of microcontrollers, which have small resources and are not able to work with the protocols HTTPS, SSL, TLS. Therefore, these servers are vulnerable to network attacks. The paper considers the creation of a web server on Arduino, which uses authorization based on GET and POST requests, as well as modernized HTTP basic authentication. The upgrade consists in the fact that the password is used for authorization from the password list, which is selected by the user based on the key sent by the server. With each new login to the server, the previous password becomes invalid. A practical example of a web server is presented on the Arduino Mega, on which are installed three LEDs simulating switching on / off of 3 power supply sources (for example, power outlets), DS18B20 temperature sensor, humidity and temperature sensor DHT 11 and barometric sensor BMP280. The server was tested with three Ethernet controllers: enc28j60, W5100 and w5500. For this purpose, three libraries were used: UIPEthetnet, Ethernet and Ethernet2, which showed the same results. It has been established that authorization on the Arduino server using the GET request method is inappropriate, because when using input forms with password fields, the codes are displayed in the address bar. Authorization using the POST method hides the transmitted codes. But the codes are transmitted over the network in an open form, so they can be intercepted using snuffers programs. Using HTTPS, SSL, TLS allows you to make such authorization secure. The program that implements the Arduino web server is made in the Arduino IDE 1.8.6.

Keywords: Arduino, Ethernet Shield Arduino, ENC28J60, W5100, W5500, HTTPS, SSL, TLS, GET and POST requests, base64-encoded, basic authentication, web-server, microcontroller.

Постановка задачи

С появлением технологий удаленного управления оборудованием через сеть Интернет актуальной стала задача авторизации на управляющих серверах. Часто такими серверами являются web-сервера, построенные на основе микроконтроллеров среди которых наиболее распространены находящиеся в составе контроллеров Arduino. Контроллеры Arduino наиболее доступные, дешевые, имеют большое количество плат расширения (shield), бесплатную программную поддержку с большим количеством библиотек. Однако в отличие от современных компьютеров Arduino имеют скромные вычислительные ресурсы в связи с чем не в состоянии поддерживать полноценные сетевые протоколы, не говоря уже о программном обеспечении обеспечивающих шифрование данных в пакетах. Поэтому команды по управлению оборудованием посылаются с браузера клиента на web-сервер Arduino без пароля идентификации. Таким образом удаленно может управлять устройствами любой пользователь, которому известен адрес сервера. Это может нанести вред правильному функционированию систем, которые могут располагаться в офисе, предприятии, учреждении, жилом доме.

Для надежной авторизации на серверах с популярными сетевыми операционными системами (Linux, FreeBSD, OpenBSD, Windows Server...) используется протокол https, данные которого

«упаковываются» в криптографический протокол SSL или TLS, обеспечивая защиту этих данных. Работа этих протоколов выполняется с помощью специального программного обеспечения, которое не может быть установлено на сервера Arduino вследствие, в частности, малой памяти микроконтроллеров. Также и стек коммуникационных протоколов Ethernet Shield Arduino использует сокращенные, урезанные версии протоколов TCP/IP. Несмотря на указанные проблемы, рассмотрим возможность упрощенной удаленной авторизации на сервере Arduino. Для этого воспользуемся технологиями GET и POST запросов, а также HTTP authentication, описанной в стандартах HTTP 1.0/1.1.

Изложение основного материала работы

Рассмотрим web-сервер на Arduino, который управляет удаленно тремя светодиодами(имитируют работу удаленного оборудования) и получает данные с температурных датчиков и датчика влажности DHT11(или датчика давления BMP280). На рисунке 1 показан сервер на Arduino Mega с контроллером сети на ENC28J60 (или W5500), светодиодами ,релейным модулем для управления нагрузкой и LCD индикатором.

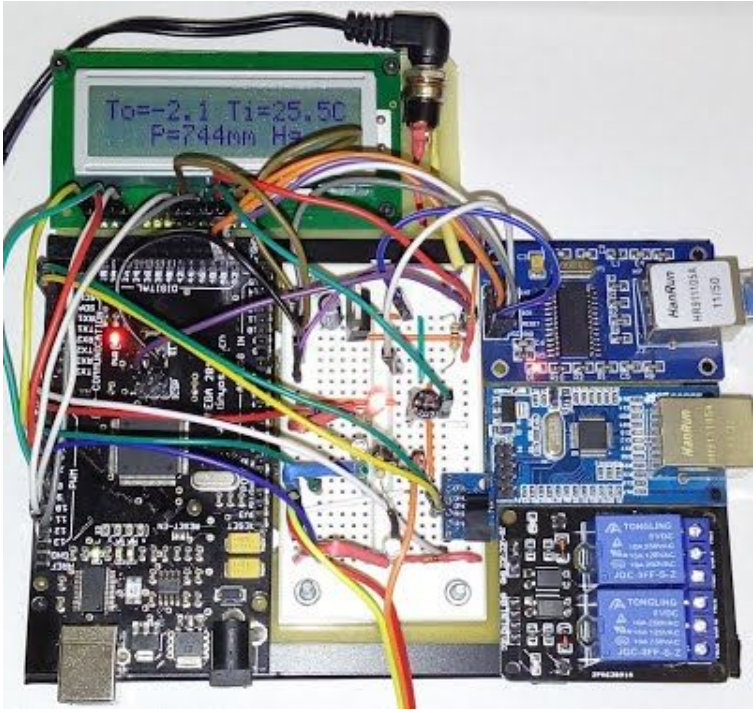


Рис. 1. Макет исследуемого web-сервера на Arduino Mega

Рассмотрим для авторизации доступа на аервер Ардуино технологии GET и POST запросов. Сервер на браузере клиента формирует форму, которая не должна отображать вводимые символы. Включение и выключение светодиодов выполняется вводом следующих кодов:

Коды управления светодиодами:
Включить красный - 11361
Выключить красный - 11360
Включить зеленый - 11381
Выключить зеленый - 11380
Включить синий - 11401
Выключить синий - 11400

Задача заключается в том, чтобы не удалось подсмотреть другому пользователю вводимые в форму коды управления. Шифрование данных по сети не рассматривается.

Рассмотрим GET запрос. Заголовок, посылаемый от браузера клиента к серверу имеет вид:

GET / HTTP/1.1
*Accept: text/html, application/xhtml+xml, image/jxr, */**
Accept-Language: ru,en-US;q=0.8,en;q=0.5,uk;q=0.3
User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; WOW64; Trident/7.0; MALNJS; rv:11.0) like Gecko
Accept-Encoding: gzip, deflate
Host: 192.168.1.18:81
Connection: Keep-Alive

В конце каждой строки заголовка следуют символы \r\n. В случае передачи параметров для включения красного и синего светодиодов заголовок будет следующим [1]:

GET /?ron=11361&roff=&gon=&goff=&bon=11401&boff= HTTP/1.1
*Accept: text/html, application/xhtml+xml, image/jxr, */**
Referer: http://192.168.1.18:81/

Accept-Language: ru,en-US;q=0.8,en;q=0.5,uk;q=0.3
User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; WOW64; Trident/7.0; MALNJS; rv:11.0) like Gecko
Accept-Encoding: gzip, deflate
Host: 192.168.1.18:81
Connection: Keep-Alive

Таким образом при GET запросе передача параметров на управление передается в первой строке заголовка браузера. На рисунке 2 представлен интерфейс управления. Здесь видно, что в адресной строке в открытом виде передаются все кодовые параметры на управление устройствами. Поэтому коды на управление можно легко подсмотреть с адресной строки. Программа сервера представлена в источнике [1].

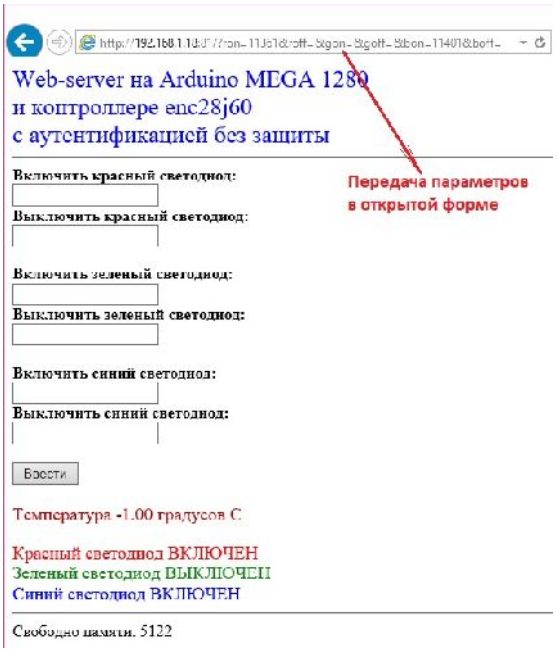


Рис. 2. Интерфейс управления для GET запроса

Рассмотрим POST запрос. В этом случае параметры управления(коды) передаются не через адресную строку. Заголовок, который посылает браузер при POST запросе, имеет следующий вид:

POST / HTTP/1.1
*Accept: text/html, application/xhtml+xml, image/jxr, */**
Referer: http://192.168.1.18:81/
Accept-Language: ru,en-US;q=0.8,en;q=0.5,uk;q=0.3
Content-Type: application/x-www-form-urlencoded
User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; WOW64; Trident/7.0; MALNJS; rv:11.0) like Gecko
Accept-Encoding: gzip, deflate
Host: 192.168.1.18:81
Content-Length: 42
Connection: Keep-Alive
Cache-Control: no-cache
<---здесь пустая строка--->
ron=11361&roff=&gon=&goff=&bon=11401&boff=

Параметры для включения красного и синего светодиодов передаются после основного заголовка через пустую строку. Первая строка заголовка указывает на передачу POST запроса.

На рис. 3 представлен интерфейс управления для POST запроса.

Видно, что в адресной строке не передаются кодовые параметры на управление устройствами, например, при включении красного и синего светодиодов. Программа сервера для POST запроса представлена в источнике [2]. Для считывания кодового параметра используются операторы

```
while(client.available())   //Обработка запроса POST
      {   post = client.read();
          if (buffer.length() <= bufferMax) { buffer += post; } }
```

которые считывают часть заголовка, находящегося после пустой строки основной части заголовка. В массив buffer записываются управляющие параметры (ron=11361&roff=&gon=&goff=&bon=11401&boff=). В зависимости от их значения операторами

```
if(buffer.indexOf("ron=11361") >= 0) {digitalWrite(3, HIGH);}
if(buffer.indexOf("roff=11360") >= 0) {digitalWrite(3, LOW);}
if(buffer.indexOf("gon=11381") >= 0) {digitalWrite(5, HIGH);}
if(buffer.indexOf("goff=11380") >= 0) {digitalWrite(5, LOW);}
```

if(buffer.indexOf("bon=11401") >= 0) {digitalWrite(7, HIGH);}
if(buffer.indexOf("boff=11400") >= 0) {digitalWrite(7, LOW);}
выполняются соответствующие действия(включение или выключение).

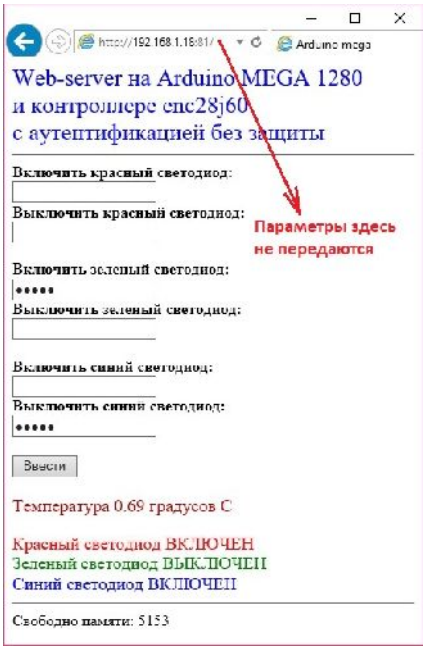


Рис. 3. Интерфейс управления для POST запроса

Из изложенного выше видно, что при POST запросе при вводе в форму кодов управления их значения подсмотреть невозможно(как и при вводе пароля при идентификации в системе через консоль). Однако данные передаются по сети в открытой форме, без кодирования. Поэтому используя программы sniffer можно всегда перехватить переданные данные и выявить управляющие коды. Использование протокола https (ssl, tsl) позволит передавать вводимые коды по сети с достаточной степенью безопасности.

Рассмотрим HTTP authentication. Этот протокол, описанный в стандартах HTTP 1.0/1.1, активно применяется в корпоративной среде. Применительно к web-сайтам он работает следующим образом:

1. Сервер, при обращении неавторизованного клиента к защищенному ресурсу, отсылает HTTP статус “401 Unauthorized” и добавляет заголовок “WWW-Authenticate” с указанием схемы и параметров аутентификации.

2. Браузер, при получении такого ответа, автоматически показывает диалог ввода username и password. Пользователь вводит детали своей учетной записи.

3. Сервер аутентифицирует пользователя по данным из этого заголовка.

Весь процесс стандартизирован поддерживается всеми браузерами и web-серверами. Существует несколько схем аутентификации, отличающихся по уровню безопасности. Ниже перечислены некоторые из них:

1. Basic – здесь username и password пользователя передаются в заголовке Authorization в незашифрованном виде (base64-encoded). Однако при использовании HTTPS (HTTP over SSL) протокола, basic является относительно безопасной (рис. 4).

Рис. 4. Схема Basic аутентификации

2. Digest — challenge-response-схема, при которой сервер посылает уникальное значение nonce, а браузер передает MD5 хэш пароля пользователя, вычисленный с использованием указанного nonce. Более безопасная альтернатив Basic схемы при незащищенных соединениях, но подвержена man-in-the-middle attacks (с заменой схемы на basic). Кроме того, использование этой схемы не позволяет применить современные хэш-функции для хранения паролей пользователей на сервере.

3. NTLM (известная как Windows authentication) — также основана на challenge-response подходе, при котором пароль не передается в чистом виде. Эта схема не является стандартом HTTP, но поддерживается большинством браузеров и веб-серверов. Преимущественно используется для аутентификации пользователей Windows Active Directory в веб-приложениях. Уязвима к pass-the-hash-атакам.

Рассмотрим схему аутентификации basic, и впоследствии модифицируем ее для веб-сервера Arduino. Согласно рис.4 практически механизм авторизации выглядит следующим образом. Сначала при запросе на подключение к серверу Arduino браузер посылает заголовок без запроса авторизации:

GET / HTTP/1.1
Host: 192.168.1.18:81
Connection: keep-alive
Cache-Control: max-age=0
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,/*;q=0.8*
Upgrade-Insecure-Requests: 1
User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; WOW64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/44.4.2403.3 Amigo/44.4.2403.3 MRCHROME SOC Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: ru-RU,ru;q=0.8,en-US;q=0.6,en;q=0.4

Сервер Ардуино отвечает браузеру заголовком на необходимость запроса с авторизацией:

HTTP/1.0 401 Unauthorized
WWW-Authenticate: Basic realm="Arduino - HOME"

Браузер Amigo посылает серверу запрос, но уже с авторизацией:

GET / HTTP/1.1
Host: 192.168.1.18:81
Connection: keep-alive
Cache-Control: max-age=0
Authorization: Basic ***YWxleDoxMzY=***
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,/*;q=0.8*
Upgrade-Insecure-Requests: 1
User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; WOW64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/44.4.2403.3 Amigo/44.4.2403.3 MRCHROME SOC Safari/537.36
Accept-Encoding: gzip, deflate, sdch
Accept-Language: ru-RU,ru;q=0.8,en-US;q=0.6,en;q=0.4
Сервер Arduino посылает ответ и после пустой строки html документ
HTTP/1.0 200 OK
Content-Type: text/html
<Здесь идет передача браузеру html документа>

YWxleDoxMzY= – это закодированный в Base64 набор символов alex:136 (alex – это login, 136 – password, которые вводятся в выскакивающем у браузере окне авторизации). На рисунке 5 представлены интерфейсы ввода логина и пароля и ответа сервера Arduino. Программа сервера Ардуино с описанной авторизацией представлена в источнике [3]. В этой программе работа сервера по представленной схеме реализуется с помощью операторов:

```
if (readString.lastIndexOf("YWxleDoxMzY=")>-1) {
  if (readString.lastIndexOf("GET /favicon.ico")>-1) {
    client.println("HTTP/1.0 404 Not Found");
  } else html_doc(client); }
else { client.println("HTTP/1.0 401 Unauthorized");
  client.println("WWW-Authenticate: Basic realm=\"Arduino - HOME\"");}
```

Однако безопасность при этой схеме весьма низкая. Пакеты по Интернет передаются в открытом виде, поэтому закодированный логин и пароль (YWxleDoxMzY=) можно легко выловить с помощью программ снифферов и раскодировать с помощью Base64 decode. Модернизируем программу, чтобы в большей степени защитить сервер Ардуино для предотвращения несанкционированного управления им. Для этого создадим список паролей, которые известны пользователю сервера. Причем при каждом новом входе на сервер пароль доступа должен меняться на следующий по списку. Поэтому, если предыдущий пароль будет расшифрован, то он становиться недействительный и злоумышленник не сможет зайти по нему. В источнике [3] представлена программа web-сервера Ардуино, на котором установлены три светодиода, имитирующие включение-выключение 3-х силовых источников питания (например электро-розеток), датчик температуры DS18B20(температура улицы) и датчик влажности и температуры DHT 11 (делает измерения в помещении) или датчик давления и температуры BMP280. Программа использует 3 пары логин: пароль:

1. alex:136; 2. alex:138; 3. alex:140

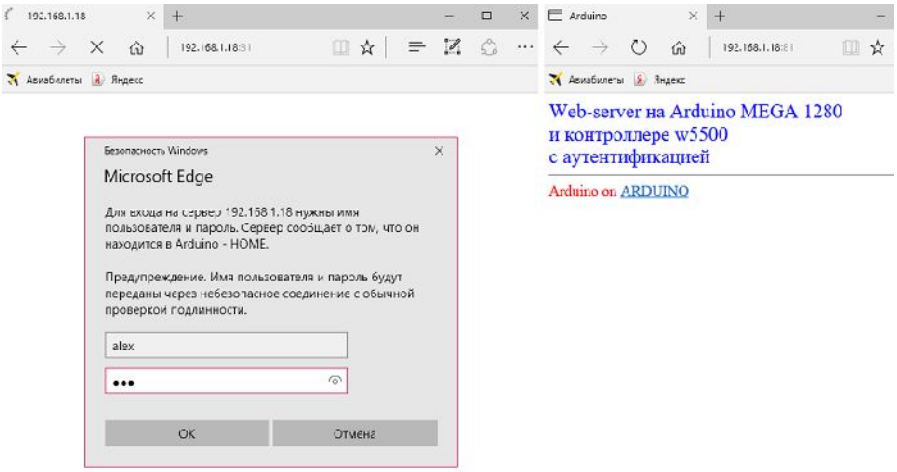


Рис. 5. Интерфейса ввода логина и пароля и ответа сервера Arduino

При каждом новом обращении к серверу пароль циклически меняется на следующий в списке. Для того, чтобы знать следующий номер пароля в браузере выводится параметр index. Его пользователь должен запомнить или определить с помощью открытого входа по адресу http://192.168.1.18:81/index. Таким образом, чем больше паролей в списке, тем более защищенным должен выглядеть сервер. На рисунке 6 представлен интерфейс управления сервером на Arduino Mega.

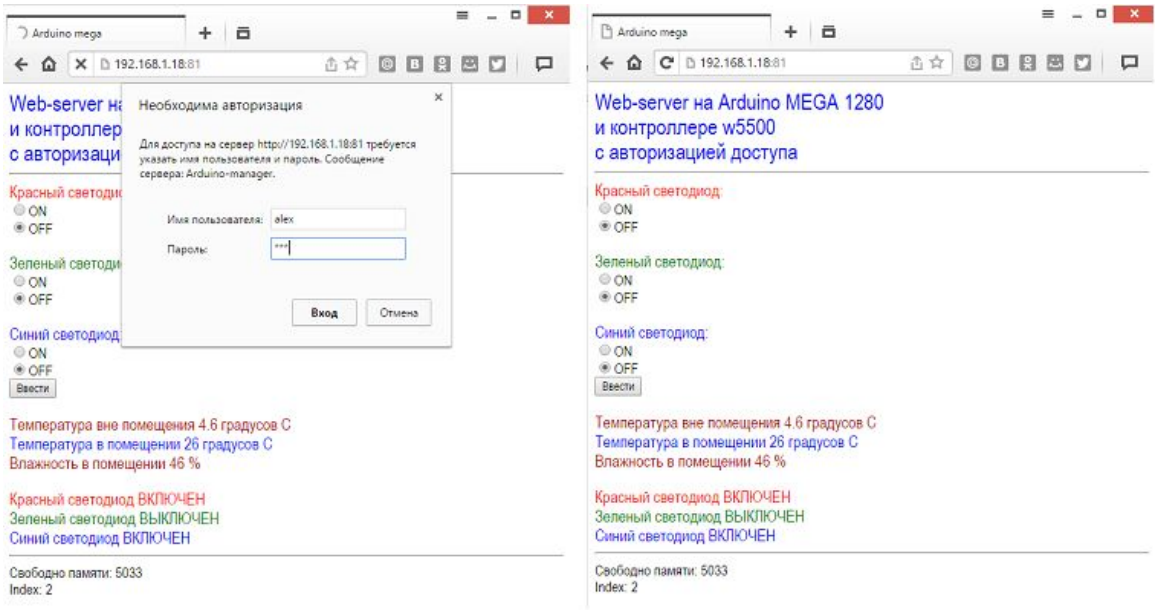


Рис. 6. Интерфейс управления web-сервером на Arduino Mega

В представленном интерфейсе Index:2 обозначает то, что при следующем входе на сервер необходимо для авторизации использовать пару alex:138

В программе работа сервера по представленной схеме для нескольких изменяющихся паролей реализуется с помощью операторов:

```
// 1-й пароль
        else if (readString.lastIndexOf("YWxleDoxMzY=")>-1 && passwd==1) {
          passwd=2; if (readString.lastIndexOf("GET /favicon.ico")>-1) {
            client.println("HTTP/1.0 404 Not Found"); }
          else { onoff(buffer); html_doc(client);} }
// 2-й пароль
        else if (readString.lastIndexOf("YWxleDoxMzg=")>-1 && passwd==2) {
          passwd=3; if (readString.lastIndexOf("GET /favicon.ico")>-1) {
            client.println("HTTP/1.0 404 Not Found"); }
          else {onoff(buffer); html_doc(client);} }
// 3-й пароль   ...
```

Передача данных выполняется с помощью POST запроса. Данные запроса размещаются после пустой строки заголовка, который посылает браузер web-серверу Arduino:

POST / HTTP/1.1

*Accept: text/html, application/xhtml+xml, image/jxr, */**

Referer: http://192.168.1.18:81/
Accept-Language: ru,en-US;q=0.8,en;q=0.5,uk;q=0.3
User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/51.0.2704.79 Safari/537.36 Edge/14.14393
Content-Type: application/x-www-form-urlencoded
Accept-Encoding: gzip, deflate
Host: 192.168.1.18:81
Content-Length: 23
Connection: Keep-Alive
Cache-Control: no-cache
Authorization: Basic YWxleDoxMzY=
< пустая строка >
r=0&g=1&b=0&av=2018year

Последняя строка – это передача данных методом POST. Эти данные должны быть обработаны сервером для управления светодиодами (используется форма с радио кнопками).

Включение и выключение светодиодов определяется параметрами r, g и b. Если r=1 – красный светодиод включен, если r=0 – выключен. Аналогично для зеленого(g) и синего(b). Это выполняется операторами:

```
if(buffer.indexOf("r=1") >= 0) {digitalWrite(3, HIGH);}
if(buffer.indexOf("r=0") >= 0) {digitalWrite(3, LOW);}
if(buffer.indexOf("g=1") >= 0) {digitalWrite(5, HIGH);}
if(buffer.indexOf("g=0") >= 0) {digitalWrite(5, LOW);}
if(buffer.indexOf("b=1") >= 0) {digitalWrite(7, HIGH);}
if(buffer.indexOf("b=0") >= 0) {digitalWrite(7, LOW);}
```

После авторизированного входа на страничку управления работу с сервером удобно организовать так, чтобы после каждого изменения параметров светодиодов вход был не авторизированным. Для этого форма должна посылать серверу какой-то дополнительный код(набор символов), получив который сервер бы не запрашивал авторизацию. В этой программе посылается код 2018year с помощью оператора

```
client.println("<input type=’hidden’ name=’av’ value=’2018year’>");
```

Так как поле имеет тип hidden, браузер его не отобразит, но методом PUT будет передано значение *2018year* с параметром *av (r=0&g=1&b=0&av=2018year).* С помощью операторов

```
else if (buffer.lastIndexOf("2018year")>-1 ) {
  if (readString.lastIndexOf("GET /favicon.ico")>-1) {
   client.println("HTTP/1.0 404 Not Found");  }
  else { onoff(); html_doc(client); } }
```

будет выполняться беспарольный вход на страничку управления. Однако для обеспечения лучшей защиты сервера Arduino из программы указанные выше операторы целесообразно убрать.

Выводы

1. Авторизация на сервере Arduino с использованием метода запроса GET является нецелесообразной, так как при использовании форм ввода с полями для пароля коды открыто высвечиваются в адресной строке. Поэтому рядом находящийся пользователь их легко может подсмотреть.

2. Авторизация с использованием метода POST скрывает передаваемые коды, однако коды передаются по сети в открытой, в не кодированной форме, поэтому их можно перехватить с помощью программ снифферов. Использование протокола HTTPS позволяет сделать такую авторизацию безопасной.

3. HTTP авторизация Basic передает username и password пользователя в незашифрованном виде (base64-encoded). И если не используется протокол HTTPS (HTTP over SSL), является относительно небезопасной.

4. Представленная в работе модернизация схемы авторизации Basic позволяет относительно безопасно управлять сервером Ардуино, но требует использования нескольких паролей, каждый из которых сообщается сервером пользователю через специальный параметр index.

5. В среде разработки Arduino IDE 1.8.6 разработано программное обеспечение, реализующее web-сервер на Arduino Mega для управления удаленными объектами через Интернет. Работоспособность опробована на макете, представленного на рис. 1.

Литература

1. Мясищев А.А. Web-server на Arduino MEGA и контроллере сети w5500 с авторизацией доступа для удаленного управления [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://sites.google.com/site/webstm32/web-server-avtorizaciej, 2018.

2. Мясищев А.А. GET и POST аутентификация на web-сервере Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://sites.google.com/site/webstm32/get-post-arduino, 2018.

3. Мясищев А.А. Web-server на Arduino mega с простой аутентификацией, использующей POST запрос [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://sites.google.com/site/webstm32/web-server--post-auten,

2018.

4. Kitsum. Авторизация на Web сервере микроконтроллера [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://it4it.club/topic/13-авторизация-на-web-сервере-микроконтроллера/, 2015

5. Гранкин С.С. Подключение Arduino к Интернету: настройка режима клиент-сервер, обработка GET и POST запросов [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://cxem.net/arduino/arduino176.php , 2016.

6. Выростков Д. Обзор способов и протоколов аутентификации в веб-приложениях / DataArt Технологический консалтинг и разработка ПО [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://habrahabr.ru/company/dataart/blog/262817, 2015.

7. Иго Т. Arduino, датчики и сети для связи устройств / Иго Т. ; пер. с англ. – 2-е изд. – СПб : БХВ-Петербург, 2015. – 544 с.

8. Иванов П.И. Управление блоком реле через браузер с помощью Arduino и Ethernet shield [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.psub.net/Publication/Details/60, 2015.

9. Скляров Д.В. Искусство защиты и взлома информации / Скляров Д.В. – СПб : БХВ-Петербург, 2004. – 288 с.

10. Анисимов В.В. Криптографические методы защиты информации [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://sites.google.com/site/anisimovkhv/learning/kripto/lecture, 2012.

11. Малков А. Классификация механизмов аутентификации пользователей и их обзор [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://habrahabr.ru/post/177551/, 2013.

12. Гавриков В. Шифрование данных: криптозащита STM32 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.compel.ru/lib/ne/2016/10/2-shifrovanie-dannyih-kriptozashhita-stm32, 2016.

13. Шумель В.В., Рудикова Л.В. Общие принципы организации http-сервера на микроконтроллере [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.elib.bsu.by/bitstream/123456789/52523/1/41-45.pdf, 2013.

References

1. Myasishchev A.A. Web-server na Arduino MEGA i kontrollere seti w5500 s avtorizaciej dostupa dlya udalennogo upravleniya. [Electronic resource]. - Mode of access: https://sites.google.com/site/webstm32/web-server-avtorizaciej, 2018.

2. Myasishchev A.A. GET i POST autentifikaciya na web-servere Arduino. [Electronic resource]. - Mode of access: https://sites.google.com/site/webstm32/get-post-arduino, 2018.

3. Myasishchev A.A. Web - server na Arduino mega s prostoj autentifikaciej, ispol'zuyushchej POST zapros. [Electronic resource]. - Mode of access: https://sites.google.com/site/webstm32/web-server--post-auten, 2018.

4. Kitsum. Avtorizaciya na Web servere mikrokontrollera. [Electronic resource]. - Mode of access: https://it4it.club/topic/13-avtorizaciya-na-web-servere-mikrokontrollera/, 2015

5. Grankin S.S. Podklyuchenie Arduino k Internetu: nastrojka rezhima klient-server, obrabotka GET i POST zaprosov. [Electronic resource]. - Mode of access: http://cxem.net/arduino/arduino176.php , 2016.

6. Vyrostkov D. Obzor sposobov i protokolov autentifikacii v veb-prilozheniyah. / DataArt Tekhnologicheskij konsalting i razrabotka PO. - [Electronic resource]. - Mode of access: https://habrahabr.ru/company/dataart/blog/262817, 2015.

7. Igo.T. Arduino, datchiki i seti dlya svyazi ustrojstv: Per. s angl.- 2-e izd.- SPb.: BHV-Peterburg, 2015.- 544 s. il.

8. Ivanov P.I. Upravlenie blokom rele cherez brauzer s pomoshch'yu Arduino i Ethernet shield. [Electronic resource]. - Mode of access: http://www.psub.net/Publication/Details/60, 2015.

9. Sklyarov D.V. Iskusstvo zashchity i vzloma informacii. - SPb.: BHV-Peterburg, 2004.- 288 s. il.

10. Anisimov V.V. Kriptograficheskie metody zashchity informacii. [Electronic resource]. - Mode of access: https://sites.google.com/site/anisimovkhv/learning/kripto/lecture, 2012.

11. Malkov A. Klassifikaciya mekhanizmov autentifikacii pol'zovatelej i ih obzor. [Electronic resource]. - Mode of access: https://habrahabr.ru/post/177551/, 2013.

12. Gavrikov V. SHifrovanie dannyh: kriptozashchita STM32. [Electronic resource]. - Mode of access: https://www.compel.ru/lib/ne/2016/10/2-shifrovanie-dannyih-kriptozashhita-stm32, 2016.

13. SHumel' V.V., Rudikova L.V. Obshchie principy organizacii http-servera na mikrokontrollere. [Electronic resource]. - Mode of access: http://www.elib.bsu.by/bitstream/123456789/52523/1/41-45.pdf, 2013.

Рецензія/Peer review : 28.02.2018 р. Надрукована/Printed :23.03.2018 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією

УДК 004.891.3: 004.3

Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, В.М. СТЕЦЮК, Я.Л. НОВИЦЬКИЙ
Хмельницький національний університет

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ АВТОМАТИЧНО ГЕНЕРОВАНОГО ПРОГРАМНОГО КОДУ

Метою даного дослідження є розроблення методу оцінювання кількості автоматично генерованого програмного коду для підрахунку кількості рядків автоматично генерованого програмного коду та реальної кількості рядків коду, створеного саме програмістом, яка дасть можливість більш точно і достовірно оцінити трудомісткість розроблення програмного забезпечення на основі LOC-оцінки.

Ключові слова: програмне забезпечення (ПЗ), трудомісткість розроблення ПЗ, метод алгоритмічного моделювання, LOC-оцінка, автоматично генерований програмний код.

T.O. HOVORUSHCHENKO, V.M. STECYUK, Y.L. NOVYTSKYI
Khmelnytsky National University

METHOD OF EVALUATING THE QUANTITY OF AUTOMATICALLY GENEREATED SOURCE CODE

The aim of this study is the development of: the method of evaluating the quantity of automatically generated source code for the calculating the number of lines of automatically generated source code and the real quantity of lines of code, which created by the programmer. It will provide the more accurate and reliable evaluations of the efforts for software development on the basis of the LOC-evaluations. Software development is not always successful due to non-compliance with the planned project deadlines or budget overruns, which is often due to an incorrect assessment of the efforts for the software development. One of the main methods for evaluating the efforts for software development is algorithmic simulation - the method, in which the dependence of the efforts for the project on a quantitative indicator of software is determined. The most influential factor of evaluating the efforts in these models is the number of lines of code or LOC-evaluation. As the analysis showed, LOC-evaluation has many problems, including the distortion of LOC-evaluation, because it is impossible to separate the number of lines of code, which is automatically generated by the development environment, and the number of lines of code, which is created manually by the programmer. In this paper, the production rules and the method for evaluating the quantity of automatically generated source code are developed. These rules and method provide: evaluating the number of lines of automatically generated code; evaluating the number of using of each automatically generated element for the concrete programming language; evaluating the number of lines of code, which is written by the programmer. The prospect for further authors' research is the development of the software tool for evaluating the quantity of automatically generated source code on the basis of the developed production rules and method of evaluating the quantity of automatically generated source code. This tool will analyze the source code and will evaluate the number of lines of automatically generated code, the number of using of each automatically generated element for the concrete programming language, and the number of lines of code, which is written by the programmer.

Keywords: software, efforts for the software development, method of algorithmic simulation, LOC-evaluation, automatically generated source code.

Вступ

В процесі створення програмного забезпечення (ПЗ) одним з найбільш важливих видів діяльності є оцінка трудомісткості розроблення ПЗ [1–3]. Оцінка трудомісткості використовується для вирішення багатьох задач, серед яких можна виділити наступні [1, 4–6]:

1) розроблення бюджету програмного проекту (необхідна точність);

2) аналіз ступеня ризику та вибір компромісного рішення (уточнюються масштаби програмного проекту, можливість повторного використання, кількість розробників, використовуване обладнання);

3) планування та управління програмним проектом (одержані результати забезпечують розподіл та класифікацію витрат за компонентами, етапами та операціями);

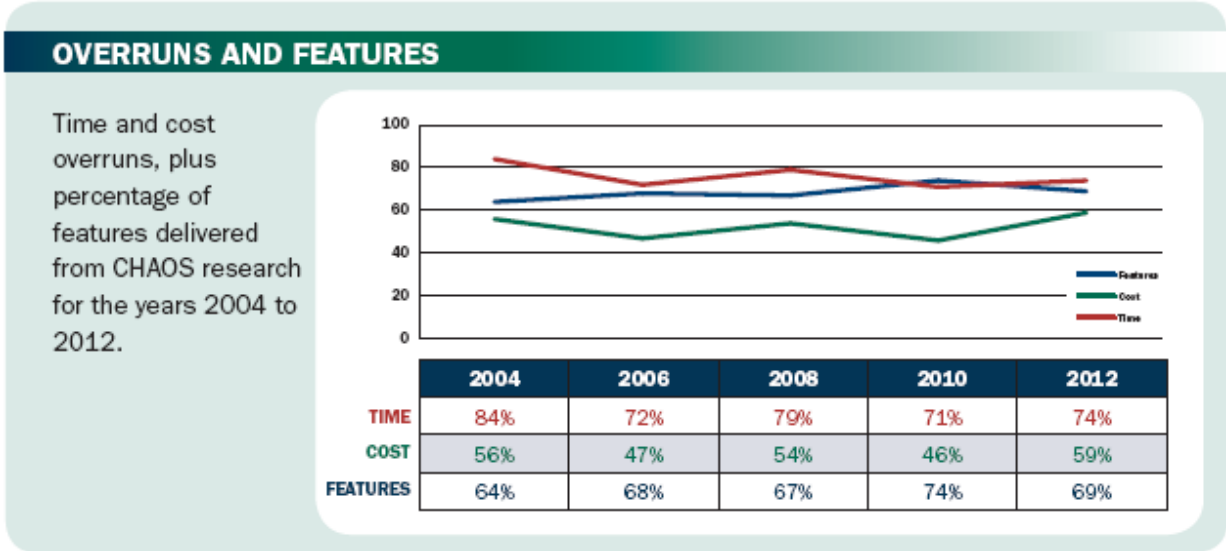
4) аналіз витрат на покращення якості ПЗ (дозволяє оцінити витрати та прибуток від стратегії інвестування у вдосконалення технологій та можливості повторного використання).

За відсутності адекватної та достовірної оцінки трудомісткості неможливо забезпечити чітке планування та управління програмним проектом. Програмні проекти, які мали перевищення термінів, перевитрати або не мали необхідних можливостей та функцій вважаються проблемними. Недооцінка вартості, тривалості та ресурсів, необхідних для створення ПЗ, тягне за собою недостатню чисельність проектної команди, надмірно стислі терміни розроблення і, як результат, втрату довіри до розробників у випадку порушення графіку [7, 8]. Статистика по перевитратах, перевищенню термінів та відсутності необхідної функціональності для проблемних програмних проектів, за даними The Standish Group International (CHAOS reports) [7, 8], представлена на рис. 1.

Статистика [7, 8] показує також,що лише 16% програмних проектів успішно завершуються середніми компаніями у визначені термін та бюджет. Ситуація з великими компаніями значно гірша – тільки 9% проектів вкладаються у визначені терміни та бюджет. Дослідження міжнародної компанії McKinsey & Company [9] спільно з University of Oxford також показали, що половина масштабних програмних проектів з загальним бюджетом понад 15 мільйонів доларів значно перевищують заплановані витрати, зокрема: середнє перевищення витрат на проект складає 66%, середнє перевищення часу реалізації проекту – 33%, а середнє число втрат прибутку – 17% (рис. 2, 3 [9]).

З іншого боку, переоцінка при оцінюванні трудомісткості розроблення ПЗ може виявитись нічим не краще. Якщо для проекту виділено більше ресурсів, ніж реально необхідно, причому без належного контролю за їх використанням, то про жодну економію не може йти мова. Такий програмний проект

виявиться більш дорогим, ніж мав би бути при грамотній оцінці, і призведе до запізнення початку наступного проекту.



	2004	2006	2008	2010	2012
TIME	84%	72%	79%	71%	74%
COST	56%	47%	54%	46%	59%
FEATURES	64%	68%	67%	74%	69%

Рис. 1. Статистика по перевитратах, перевищенню термінів та відсутності необхідної функціональності для проблемних програмних проектів

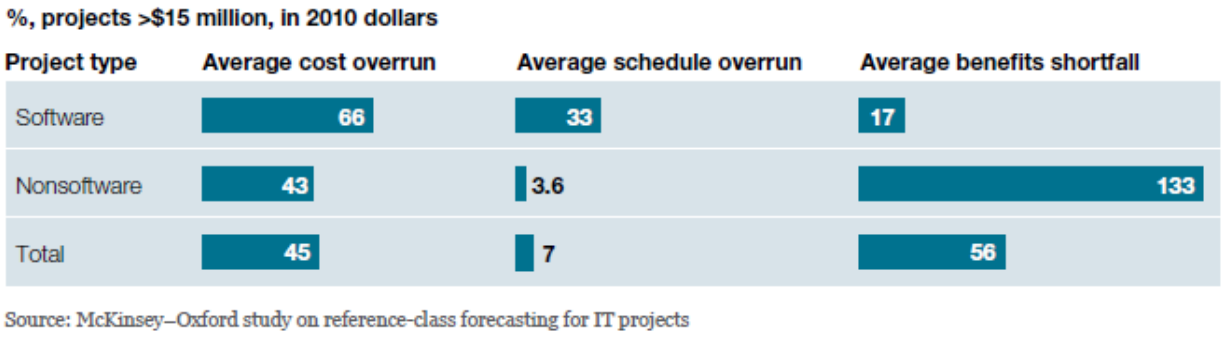


Рис. 2. Продуктивність програмних проектів різних типів

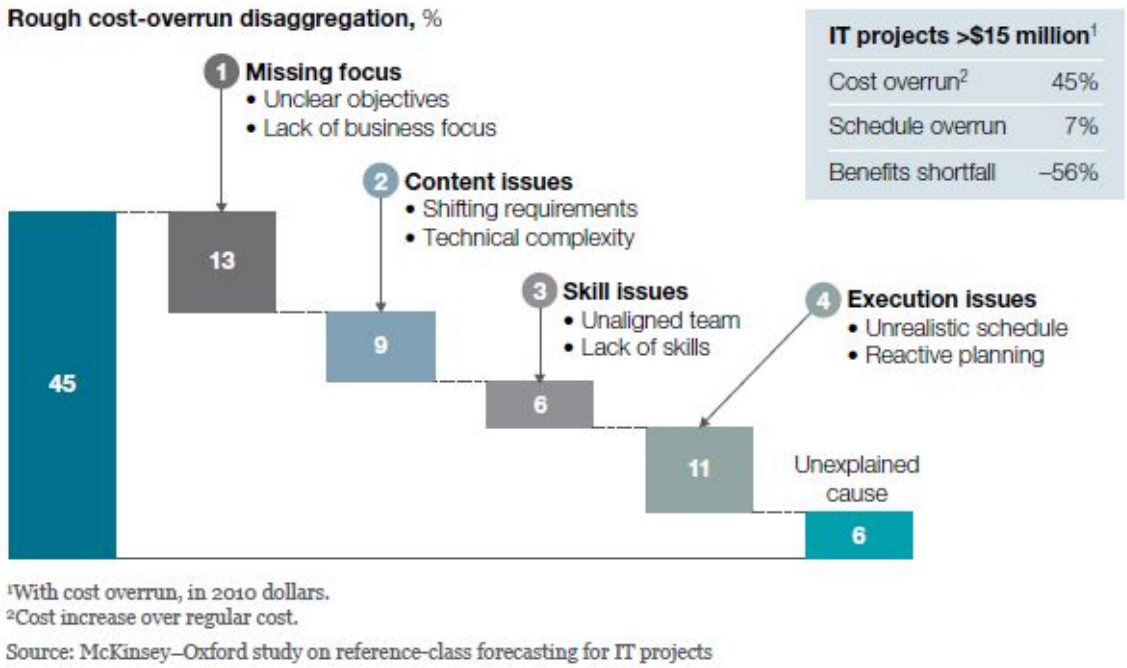


Рис. 3. Чотири групи питань, які викликають більшість невдач програмних проектів

Отже, розроблення ПЗ не завжди завершується успішно, і часто потрапляння програмного проекту в категорію проблемних пов'язане із невиконанням запланованих термінів виконання проекту або перевищення бюджету, тобто може бути обумовлене некоректною оцінкою трудомісткості розроблення ПЗ.

Тому *актуальною задачею* наразі є підвищення достовірності оцінювання трудомісткості розроблення ПЗ.

Значущість оцінки розміру програмного коду
при оцінюванні трудомісткості розроблення програмного забезпечення

Одним з основних методів оцінки трудомісткості програмного проекту є алгоритмічне моделювання [10] – метод, при якому визначається залежність трудомісткості проекту від якогось кількісного показника ПЗ (як правило, це розмір коду). Проводиться оцінка цього показника для даного проекту, після чого за допомогою моделі прогнозуються майбутні витрати. Більшість моделей для визначення трудомісткості розроблення ПЗ можуть бути зведені до функції п'яти основних параметрів [10–12]:

1) розміру кінцевого продукту – як правило, кількість рядків коду або кількість функційних точок, необхідних для реалізації даної функційності;

2) особливостей процесу, використовуваного для одержання кінцевого продукту, зокрема, його здатність уникати непродуктивних видів діяльності (переробок, витрат на взаємодію);

3) можливостей персоналу, який бере участь у розробленні ПЗ, особливо його професійного досвіду та знання предметної галузі проекту;

4) середовища, яке складається з інструментів та методів, використовуваних для ефективного виконання розроблення ПЗ та автоматизації процесу;

5) потрібної якості продукту, яка включає в себе його функційні можливості, продуктивність, надійність та адаптованість.

Найбільш впливовим фактором оцінки трудомісткості в цих моделях є розмір програмного забезпечення [10–12]. Основними одиницями вимірювання розміру ПЗ є: кількість рядків коду (Lines of Code –LOC) та функційні точки (Function Points – FP). Кількість рядків коду (LOC-оцінка) – найвідоміша, найпоширеніша та найбільш вживана одиниця вимірювання [2, 4, 10].

Переваги використання LOC-оцінки в якості одиниць вимірювання [2, 4, 10]: широке поширення та легка адаптованість; можливість співставлення методів вимірювання розмірів та продуктивності в різних групах розробників; безпосередній зв'язок з кінцевим продуктом; легка оцінка до завершення проекту; оцінка розмірів ПЗ на основі точки зору розробника – фізична оцінка створеного продукту.

Поряд з перевагами, *застосування LOC має й ряд проблем* [2, 4, 10]: LOC-оцінка важка для застосування при оцінювання розміру ПЗ на ранніх етапах розроблення; рядки сирцевого коду можуть розрізнятись в залежності від типів мов програмування, методів проектування, стилю та здібностей програміста; показники LOC не можуть застосовуватись при здійсненні нормалізації у випадку, якщо застосовувані платформи розроблення або мови є різними; застосування методів оцінки за допомогою підрахунку кількості рядків коду не регламентується промисловими стандартами; розроблення ПЗ може бути пов'язане із великими витратами, які прямо не залежать від розмірів програмного коду – складання специфікацій вимог та документів користувача, не включених у прямі витрати на кодування; програмісти можуть бути незаслужено премійовані за досягнення високих показників LOC у випадку, якщо керівництво помилково вважатиме це ознакою високої продуктивності, але при цьому відсутнім буде ретельно розроблений проект (сирцевий код не є самоціллю при створенні продукту – головну роль мають функційні властивості та показники продуктивності); генератори коду часто продукують надмірний обсяг коду, в результаті чого спотворюються LOC-оцінки; при підрахунку кількості рядків коду слід розрізняти автоматично та вручну створений код.

Тоді *метою даного дослідження* є розроблення методу оцінювання кількості автоматично генерованого програмного коду для підрахунку реальної кількості рядків коду, створеного саме програмістом, яка дасть можливість більш точно і достовірно оцінити трудомісткість розроблення ПЗ.

Метод оцінювання кількості автоматично генерованого програмного коду

До складу більшості середовищ розроблення входять набори типових елементів. Щоразу коли створюється новий проект, відповідне середовище розроблення автоматично створює «скелет» майбутнього додатку, причому цей код можна негайно безпомилково скомпілювати і запустити на виконання. Програмний проект в такому випадку містить автоматично генерований програмний код, який представляє собою основу майбутньої програми. Більш складні елементи управління мають так звані «програми-майстри» (Wizards), які допомагають налаштувати поведінку елементів управління, автоматично генеруючи код в залежності від обраних опцій. Автоматична генерація програмного коду економить час розробників, позбавляє їх необхідності щоразу заново створювати типовий програмний код і, звісно, призводить до зменшення трудомісткості розроблення ПЗ. Саме з метою правильного визначення LOC-оцінки програмного коду і подальшої достовірної оцінки трудомісткості розроблення ПЗ, і виникає необхідність розрізняти автоматично генерований програмний код і програмний код, написаний вручну програмістом.

Будь-який програмний код може бути представлений у вигляді об'єднання множин автоматично генерованого програмного коду та програмного коду, написаного вручну програмістом:

$$SSC = ASC \cup HSC, \quad (1)$$

де ASC – автоматично генерований програмний код, HSC – код, написаний програмістом вручну.

Тоді LOC-оцінку програмного коду представимо в наступному вигляді:

$$LOC = LOC_{auto} + LOC_{by_hand}, \quad (2)$$

де LOC_{auto} – кількість рядків автоматично генерованого коду, LOC_{by_hand} – кількість рядків коду,

написаного програмістом вручну.

Рядки автоматично генерованого коду складаються з певних елементів (конструкцій), які утворюють наступну множину (ця множина буде мати різне наповнення для різних мов та середовищ програмування):

$$AC = \{el_1, el_2, ..., el_n\}, \quad (3)$$

де el_i – i-й елемент (конструкція) коду, який генерується автоматично (основним обмеженням на такий елемент є те, що він повинен складати один рядок коду), n – кількість елементів (конструкцій), які можуть генеруватись автоматично (кількість n є різною для різних середовищ та мов програмування).

Весь програмний код представимо у вигляді множини його рядків:

$$SC = \{line_1, line_2, ..., line_{LOC}\}, \quad (4)$$

де $line_j$ – j-й рядок коду, причому $line_j$ – це підмножина, яка складається з конструкцій певної мови програмування, букв, цифр та символів, доупстимих алфавітом тієї чи іншої мови програмування. Основною вимогою до програмного коду є обов'язкове дотримання правил CodeStyle, зокрема, в частині оформлення програмного коду (нова конструкція пишеться з нового рядка і т.і.).

Розробимо універсальні *продукційні правила оцінювання кількості рядків автоматично генерованого програмного коду*:

1) якщо $el_1 \in line_1$, то $LOC_{auto_1} = LOC_{auto_1} + 1$;

2) …

3) якщо $el_i \in line_1$, то $LOC_{auto_i} = LOC_{auto_i} + 1$;

4) …

5) якщо $el_n \in line_1$, то $LOC_{auto_n} = LOC_{auto_n} + 1$;

6) …

7) якщо $el_1 \in line_j$, то $LOC_{auto_1} = LOC_{auto_1} + 1$;

8) …

9) якщо $el_i \in line_j$, то $LOC_{auto_i} = LOC_{auto_i} + 1$;

10) …

11) якщо $el_n \in line_j$, то $LOC_{auto_n} = LOC_{auto_n} + 1$;

12) …

13) якщо $el_1 \in line_{LOC}$, то $LOC_{auto_1} = LOC_{auto_1} + 1$;

14) …

15) якщо $el_i \in line_{LOC}$, то $LOC_{auto_i} = LOC_{auto_i} + 1$;

16) …

17) якщо $el_n \in line_{LOC}$, то $LOC_{auto_n} = LOC_{auto_n} + 1$.

Розроблені правила є універсальними для кожної мови та середовища програмування, але наповнення множини $AC = \{el_1, el_2, ..., el_n\}$ буде різним (індивідуальним) для кожної конкретної мови та середовища програмування.

На основі розроблених продукційних правил підрахунку кількості рядків автоматично генерованого програмного коду розробимо *метод оцінювання кількості автоматично генерованого програмного коду*:

1) відбувається формування множини елементів (конструкцій) $AC_{concrete} = \{el_{1_{concrete}}, el_{2_{concrete}}, ..., el_{n_{concrete}}\}$, які генеруються автоматично, для конкретної мови (середовища) програмування;

2) за методом здійснення пошуку в ширину в прямому напрямку [12] в множині продукційних правил відбувається пошук правила для кожного з елементів множини $AC_{concrete}$, згідно з якими ведеться підрахунок лічильників кількості рядків (використань) кожного автоматично генерованого елементу (конструкції);

3) виконується оцінювання кількості автоматично генерованого програмного коду:

$$LOC_{auto} = \sum_{i=1}^{n} LOC_{auto_i}, \quad (5)$$

де LOC_{auto_i} – кількість рядків (використань) кожного автоматично генерованого елементу (конструкції) конкретної мови програмування; n – кількість елементів (конструкцій), які можуть генеруватись автоматично (кількість n є різною для різних середовищ та мов програмування);

4) виконується оцінювання кількості рядків коду, написаного програмістом вручну:

$$LOC_{by_hand} = LOC - LOC_{auto}, \quad (6)$$

де LOC – кількість рядків коду (наразі є багато інструментів, які надають LOC-оцінку програмного коду); LOC_{auto} – кількість рядків автоматично генерованого коду, підрахована за формулою (5).

Розроблені правила і метод оцінювання кількості автоматично генерованого програмного коду дають можливість не лише порахувати кількість рядків автоматично генерованого програмного коду, але й дозволяють підрахувати кількість використань кожного елементу (конструкції), яка генерується автоматично, а також кількість рядків коду, написаного вручну програмістом.

Висновки

Розроблення ПЗ не завжди завершується успішно в зв'язку з недотриманням запланованих термінів виконання проекту або перевищення бюджету, що часто обумовлено некоректною оцінкою трудомісткості розроблення ПЗ. Одним з основних методів оцінки трудомісткості розроблення ПЗ є алгоритмічне моделювання – метод, при якому визначається залежність трудомісткості проекту від якогось кількісного показника ПЗ. Найбільш впливовим фактором оцінки трудомісткості в цих моделях є кількість рядків коду або LOC-оцінка.

Як показав проведений аналіз, використання LOC-оцінки має ряд проблем, серед яких спотворення LOC-оцінок через неможливість відокремлення кількості рядків коду, який буде генеруватись автоматично середовищем розроблення, від кількості рядків коду, який буде створюватись вручну програмістом.

В статті розроблено продукційні правила і метод оцінювання кількості автоматично генерованого програмного коду, які забезпечують:

1) оцінювання кількості рядків автоматично генерованого програмного коду;

2) оцінювання кількості використань кожного автоматично генерованого елементу (конструкції) для конкретної мови програмування;

3) оцінювання кількості рядків коду, написаного вручну програмістом.

Перспективою для подальших досліджень авторів є розроблення програмного засобу оцінювання кількості автоматично генерованого програмного коду, який буде базуватись на розроблених у статті продукційних правилах і методі оцінювання кількості автоматично генерованого програмного коду. Даний програмний засіб матиме базу знань, яка міститиме множини автоматично генерованих елементів (конструкцій) декількох мов програмування, записані в неї розробниками програмного засобу, а також множини автоматично генерованих елементів (конструкцій) для інших (невідомих засобу) мов програмування, записані в неї в процесі роботи користувача з програмним засобом, тобто користувач матиме можливість вибрати мову серед запропонованих програмним засобом або ввести автоматично генеровані елементи іншої мови програмування (доповнити таким чином базу знань засобу). Крім цього, база знань засобу міститиме розроблені продукційні правила оцінювання кількості автоматично генерованого програмного коду. Програмний засіб здійснюватиме аналіз програмного коду і, на основі використання розробленого методу, оцінюватиме кількість рядків автоматично генерованого програмного коду, кількість використань кожного автоматично генерованого елементу (конструкції) для конкретної мови програмування, а також кількість рядків коду, написаного вручну програмістом.

Література

1. Кикоть О. П. Метод оцінювання трудомісткості розроблення програмного забезпечення / О. П. Кикоть, С. В. Козак, Д. О. Денисюк // Інтелектуальні технології в системному програмуванні: Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених та студентів, 22–24 квітня 2015 р. : матеріали конференції. – Хмельницький, 2015. – С. 75–82.

2. Фатрелл Р. Т. Управление программными проектами: достижение оптимального качества при минимуме затрат / Р. Т. Фатрелл, Д. Ф. Шафер, Л. И. Шафер ; пер. с англ. – Москва : Изд. дом «Вильямс», 2003. – 1136 с.

3. Брауде Э. Дж. Технология разработки программного обеспечения / Эрик Дж. Брауде. – СПб : Питер, 2004. – 655 с.

4. Макконнелл С. Совершенный код. Мастер-класс / С. Макконнелл. – Москва : Издательство "Русская редакция", 2013. – 896 с.

5. Шамие К. Системная инженерия для «чайников» / К. Шамие. – New York : John Wiley & Sons, 2014. – 76 с.

6. Зыль С. Проектирование, разработка и анализ программного обеспечения систем реального времени / С. Зыль. – Санкт-Петербург : «БХВ-Петербург», 2010. – 336 с.

7. The Standish Group International: CHAOS Manifesto – Think big, act small. Technical report, CHAOS Knowledge Center (2013).URL: http://www.versionone.com/assets/img/files/CHAOSManifesto2013.pdf (viewed on February 5, 2018). – Title from the screen.

8. Hastie Shane. Standish Group 2015 Chaos Report – Q&A with Jennifer Lynch / Shane Hastie, Stéphane Wojewoda. URL: http://www.infoq.com/articles/standish-chaos-2015 (viewed on February 5, 2018). – Title from the screen.

9. Вендров А. М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных

систем : учебник / А. М. Вендров. – Москва : Финансы и статистика, 2006. – 544 с.

10. Sommerville I. Software Engineering / I. Sommerville. – London : Pearson, 2015. – 816 p.

11. Лаврищева Е. М. Software Engineering компьютерных систем. Парадигмы, технологии и CASE-средства программирования / Е. М. Лаврищева. – Киев : Наукова думка, 2013. – 283 с.

12. Гаврилова Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – Санкт-Петербург : Питер, 2001. – 384 с.

References

1. O. P. Kykot, S. V. Kozak, D. O. Denysyuk. Metod otsinuvannya trudomistkosti rozroblennya programnogo zabezpechennya. Intelektualni tekhnologii v systemnomu programuvanni: Vseukrainska naukovo-praktychna konferenciya molodyh vchenykh ta studentiv, 22-24 kvitnya 2015: materiali konferencii. – Khmelnytskyi, 2015. – S. 75-82.

2. R.T. Futrell, D.F. Shafer, L.I. Shafer. Quality Software Project Management. – Prentice Hall PTR, 2003. – 1680 p.

3. E. K. Braude. Software Design: From Programming to Architecture. – John Wiley and Sons, 2004. – 550 p.

4. S. McConnell. Code complete. – Microsoft Press, 2013. – 896 p.

5. C. Shamieh. Systems Engineering for Dummies. – Wiley Publishing, 2011. – 74 p.

6. S. Zyl. Proektirovanie, razrabotka i analiz programmnogo obespecheniya sistem realnogo vremeni. – Sankt-Peterburg: BHV-Peterburg, 2010. – 336 s.

7. The Standish Group International: CHAOS Manifesto – Think big, act small. Technical report, CHAOS Knowledge Center (2013) [Electronic resource]: http://www.versionone.com/assets/img/files/CHAOSManifesto2013.pdf (viewed on February 5, 2018). – Title from the screen.

8. Hastie Shane. Standish Group 2015 Chaos Report – Q&A with Jennifer Lynch [Electronic resource] / Shane Hastie, Stéphane Wojewoda. – Mode of access: http://www.infoq.com/articles/standish-chaos-2015 (viewed on February 5, 2018). – Title from the screen.

9. A.M. Vendrov. Proektirovanie programmnogo obespecheniya ekonomicheskih informatsionnih sistem: uchebnik. – Moskva: Finansi i statistica, 2006. – 544 s.

10. Sommerville. Software Engineering / I. Sommerville. – London: Pearson, 2015. – 816 p.

11. Ye. M. Lavrishcheva. Software Engineering komputernyh sistem. Paradigmi, tekhnologii i CASE-sredstva programmirovaniya. – Kiev: Naukova dumka, 2013. – 283 s.

12. T. A. Gavrilova, V. F. Khoroshevskiy. Bazy znaniy intellektualnih sistem. – Sankt-Peterburg: Piter, 2001. – 384 s.

Рецензія/Peer review : 12.02.2018 р. Надрукована/Printed :27.03.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Р.В. Сорокатий

УДК 534.87

О.Ю. МЄШКОВ, О.О. НОВІКОВ, С.М. ЗЛЕПКО
Херсонський національний технічний університет, Вінницький національний технічний університет

МЕТОД ЛОКАЛЬНИХ МАКСИМУМІВ ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ ВОКАЛІЗОВАНИХ ДІЛЯНОК ГОЛОСОВОГО СИГНАЛУ ЛЮДИНИ

У статті подано розроблений авторами метод виділення вокалізованих ділянок голосового сигналу. Розроблений метод базується на визначенні максимуму короткотривалого спектру сигналу. Виділено ряд особливостей голосового сигналу, які вливають на роботу методу, таких як логічні наголоси, атака та гасіння звуку на початку та в кінці фрази, та здійснено ряд заходів для зменшення їх впливу на результати роботи методу. Експериментальне дослідження розроблених методів на реальних акустичних записах дозволило визначити критерії розмежування вокалізованих ділянок та ділянок шуму, а також двох суміжних вокалізованих ділянок. Результати досліджень показують універсальність розробленого методу, тобто можливість і доцільність його використання незалежно від віку, статі людини, а також мови та тексту аналізованої фрази.

Ключові слова: голосовий сигнал, сегментація, вокалізована ділянка, спектр.

O.YU. MIESHKOV, O.O. NOVIKOV, S.M. ZLEPKO
Kherson National Technical University, Vinnytsia National Technical University

LOCAL MAXIMUMS METHOD FOR VOCALIZED FRAGMENTS EXTRACTION FROM VOICE SIGNAL

An authors' method for vocalized fragments extraction from voice signal is given in the article. The developed method is based on the determination of the maximum of the short-term spectrum of the signal. A number of peculiarities of the voice signal that are poured into the work of the method, such as logical accents, attack and suppression of sound at the beginning and end of the phrase are highlighted, and a number of measures were taken to reduce their impact on the results of the method. Experimental study of the developed method on real acoustic records allowed determining the criteria for the delimitation of vocalized fragments and noise areas, as well as two adjacent vocalized fragments. The results of research show the universality of the developed method, that is, the possibility and expediency of its use, regardless of age, gender of the person, as well as the language and the text of the analyzed phrase. The main criterion for the delimitation of vocalized sections and noise regions of a signal is the local maxima of the short-range signal spectrum. The authors considered the peculiarities of using the developed method on the basis of real acoustic signals. The initial study was conducted on the pass phrase "Things are going well", which contains all the sounds of the Ukrainian language. The research was conducted on acoustic materials of announcers of different ages, sexes and in rooms with different acoustic characteristics. In all cases, the developed algorithms had the accuracy of the selection of vocalized areas from 3 to 7.5%, which is satisfactory for the tasks of the analysis of the voice signal. At the same time, the study of developed algorithms in the English-language material also yields results that are similar in accuracy. This confirms that the developed algorithms are universal and can be used by different people, regardless of age, gender, anthropometry, recording conditions, human language, and the text of the phrase under discussion.

Keywords: voice signal, segmentation, vocalized fragment, spectrum.

Постановка проблеми. Одним з важливих етапів обробки голосового сигналу для різних задач є сегментація. Під процедурою сегментації розуміють процес визначення меж між ділянками, що відповідають різним звукам [1]. Далі для кожного окремо виділеного звуку можуть визначатись різні характеристики – спектр, тривалість, динаміка основної частоти, розподіл енергії тощо. Вибір конкретних характеристик обумовлюється задачами аналізу голосового сигналу та необхідною точністю. Ряд цих характеристик власне може використовуватись і для самої процедури сегментації сигналу.

У дослідницьких задачах та на етапах попередніх розробок доцільним є використання ручної сегментації. Однак вона потребує наявності досвідчених лінгвістів, а також значних затрат сил та часу. Причиною цього є складна структура суцільного потоку мови, яка може містити паузи між словами, а може і не містити. Ще однією причиною, яка ускладнює процедуру ручної сегментації є коартикуляція, яка виникає на межі звуків, що вимовляються послідовно, і значно полегшує правильне сприйняття та розуміння мови людиною в режимі реального спілкування. Крім того, практично неможливо точно відтворити результати ручної сегментації внаслідок суб'єктивності людського слухового та зорового сприйняття. Подібні проблеми не виникають при автоматичній сегментації, яка, хоч і не є безпомилковою, але дає відтворювані результати [2]. Отже, проблема розробки методів автоматичної сегментації є досить актуальною на сьогоднішній день.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання розробки методів та технічних засобів автоматичної сегментації голосових сигналів досліджувалось такими вченими, як Л. Рабінер, Е.Г. Жиляков, О.А. Вишнякова, Д.Н. Лавров, В.Н. Сорокін, А.І. Циплихін Г.А. Семенов та ін. [1–5]. У їх працях наведено ряд методів та алгоритмів сегментації голосових сигналів, однак не усі вони характеризуються значною точністю. До того ж досить часто у них не враховані емоційні та логічні особливості голосових сигналів та лінгвістичні особливості різних мов.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. На наш погляд, невирішеною залишається проблема створення універсального методу сегментації голосового сигналу, який міг би використовуватись широким загалом людей незалежно від віку, статі, антропометрії, мови та тексту. Також важливим питанням є програмна реалізація даного методу засобами сучасної техніки.

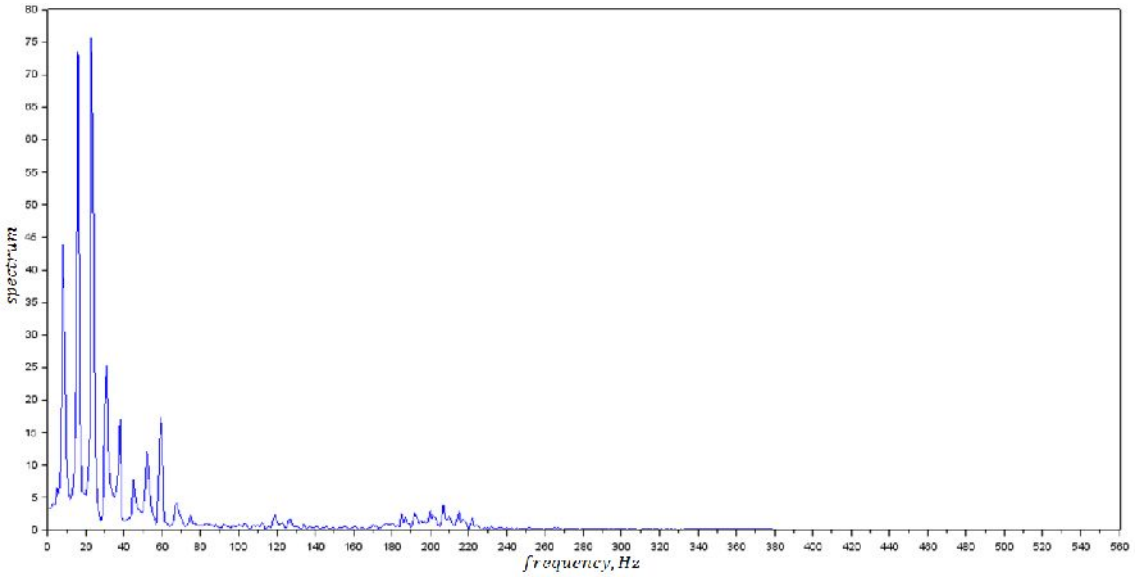
Формулювання мети дослідження. Метою статті є формування авторського методу виділення вокалізованих ділянок голосового сигналу, який би враховував емоційні та логічні особливості вимови та

міг би використовуватись для голосових сигналів різних дикторів.

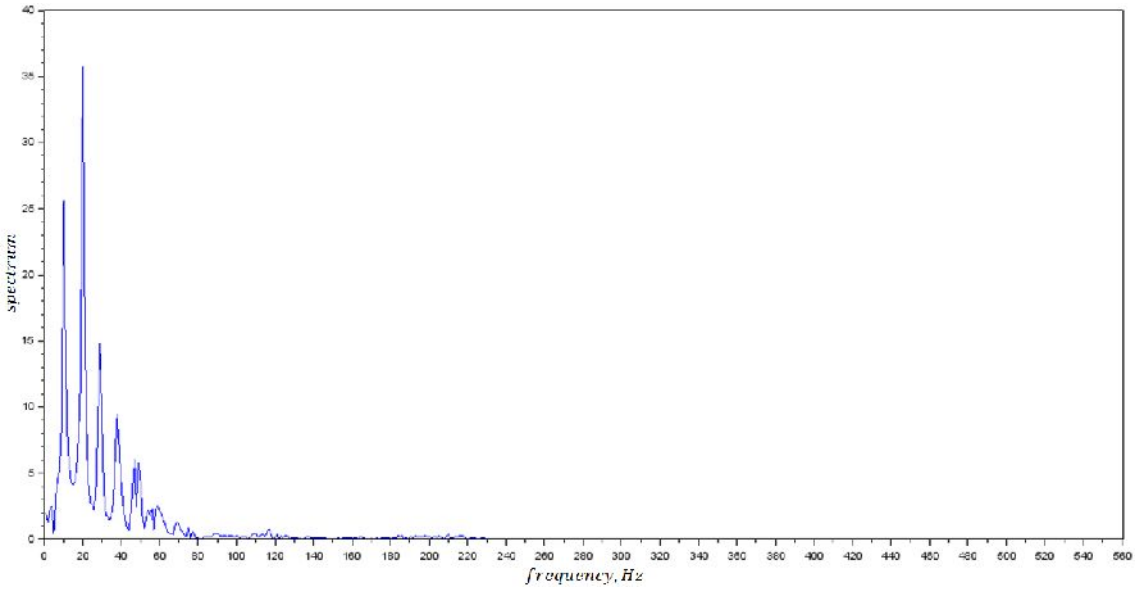
Виклад основного матеріалу дослідження. У дослідженні вирішується часткова задача сегментації, яка полягає не у повному розбитті голосового сигналу на окремі фонеми, а тільки у виділенні вокалізованих ділянок даного сигналу. Під вокалізованою ділянкою у даному випадку розуміється ділянка голосового сигналу, яка містить голосний звук. Авторами розроблено метод часткової сегментації, який базується на так званих локальних максимумах спектру сигналу.

Розроблений метод передбачає два етапи обробки голосового сигналу. На першому етапі весь сигнал розбивається на послідовність вікон, які потім зміщуються по сигналу з кроком у половину ширини вікна. При ручній сегментації реальних записів голосових сигналів різних дикторів було визначено, що тривалість вокалізованих ділянок може змінюватись у межах від 0,05 до 0,25 сек. Отримані дані цілком зіставні з результатами, наведеними у джерелах [2, 3]. Тому для подальшого дослідження було обрано вікно шириною 0,05 сек. З урахуванням того, що при дослідженні використовувались акустичні записи у форматі *.wav з частотою дискретизації 22050 Гц, таке вікно містить у собі 1100 відліків, а зміщуватиметься на 550 відліків.

Для виділеного вікна визначається спектр за допомогою швидкого перетворення Фур'є без накладання яких-небудь вікон. За структурою спектри вокалізованих ділянок, ділянок, що містять приголосні чи шуми, та пауз суттєво відрізняються. На рис. 1 надано приклади спектрів, отриманих у ході дослідження.

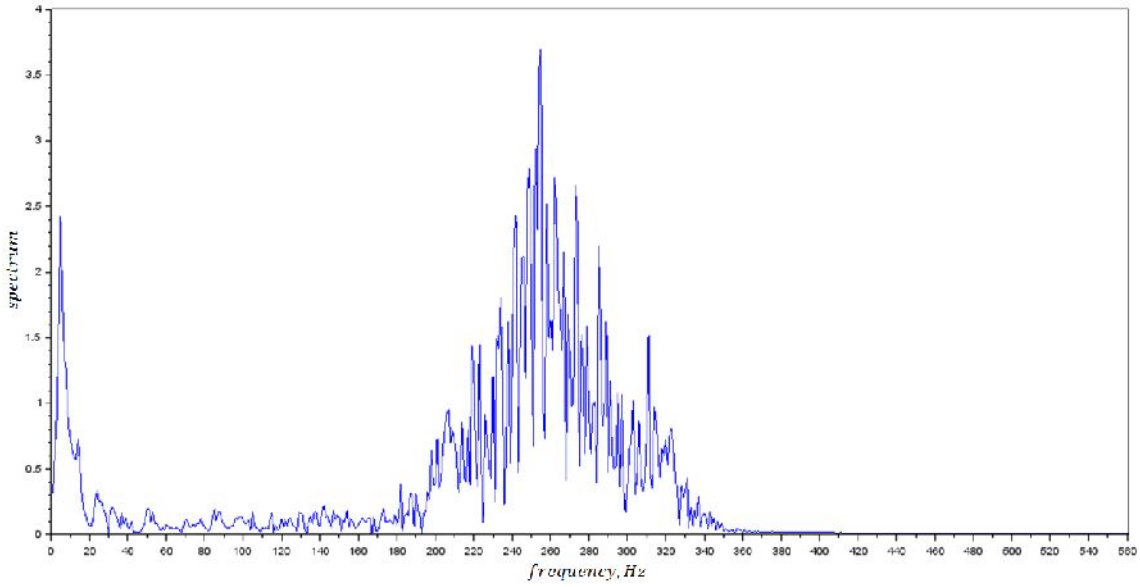


а)

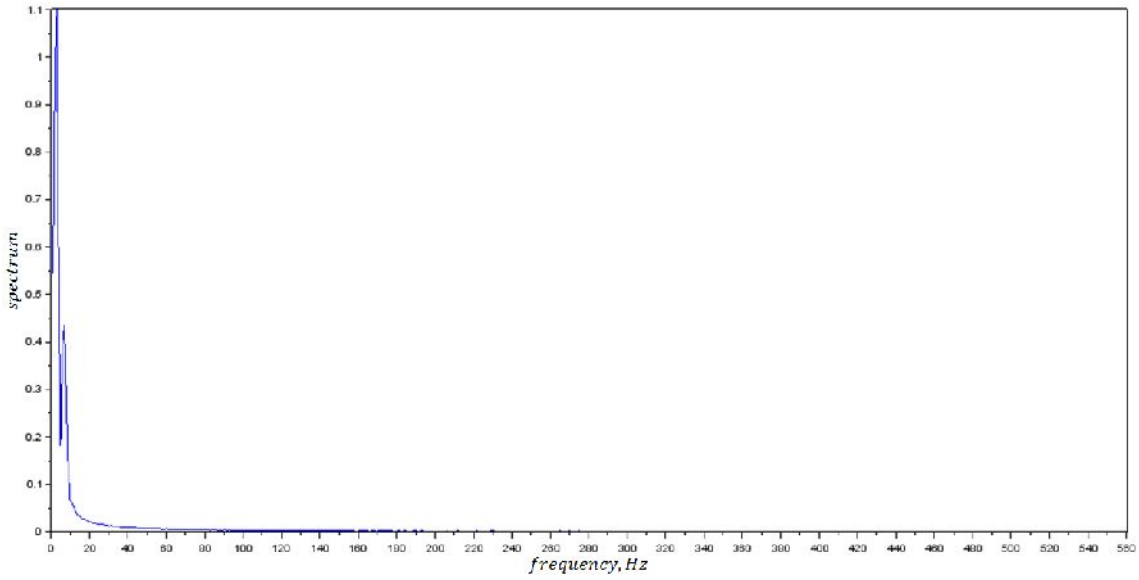


б)

Рис. 1. Спектри вокалізованої ділянки (а), приголосного звуку (б), ділянки білого шуму (в) та паузи (г)



в)



г)

Рис. 1. Спектри вокалізованої ділянки (а), приголосного звуку (б), ділянки білого шуму (в) та паузи (г) (продовження)

Як бачимо, величина амплітуди спектру вокалізованої ділянки значно більша, ніж аналогічні показники у приголосних звуків. Структура спектрів шуму та паузи суттєво відрізняється від спектру вокалізованої ділянки і їх амплітудні показники також істотно менші.

Саме цю особливість пропонується використати для визначення локалізації голосової ділянки в потоці мови. У якості критерію наявності у межах обраного вікна вокалізованої ділянки пропонується обрати максимальне значення амплітуди спектру сигналу. У порівнянні з методами, які передбачають визначення енергії спектру вікна чи енергії, що сконцентрована у певних частотних діапазонах, даний метод матиме меншу обчислювальну складність, і, відповідно менший час на виконання, що досить актуально у сучасних системах аналізу інформації у режимі реального часу.

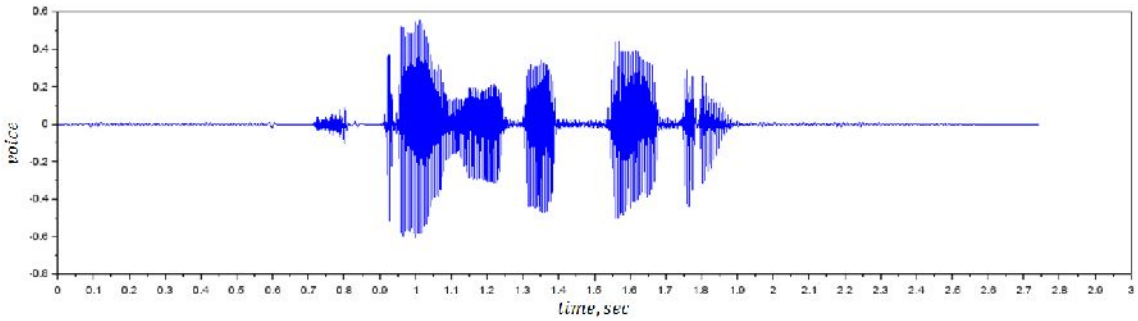


Рис. 2. Типовий розподіл амплітуди у часі при вимові фрази «Справи ідуть добре»

Розроблений метод у подальшому планується використовувати у автоматичній системі верифікації водія і допуску його до керуванням автомобілем та контролю його стану під час руху. З урахуванням цього

первинне дослідження проводилось на парольній фразі «Справи ідуть добре». Вибір даної фрази обумовлено тим, що в ній наявні усі голосні звуки української мови і вона є логічною відповіддю на парольне питання при верифікації «Як справи?». Приклад візуалізації акустичного запису обраної фрази подано на рис. 2.

Акустичні дані переводились у цифрову форму – формувався масив даних амплітуди сигналу $voice$. При перекритті даного масиву вікнами обраної тривалості у 1100 відліків з подальшим зміщенням на половину ширини вікна визначалось максимальне значення спектру сигналу у межах даного вікна. Як наслідок утворюється масив максимальних значень спектру peaks. Приклад розподілу максимумів у часі для конкретного сигналу подано на рис. 3.

Як видно з рис. 3., кожній вокалізованій ділянці відповідає значне збільшення максимального значення спектру. Тим не менше, аналогічний сплеск може спостерігатись і для приголосних («сп» на початку фрази). З іншого боку, деякі голосні звуки можуть мати спектри близькі до приголосних (комбінація «ре» наприкінці фрази). Тобто виникає необхідність розрізнення вокалізованих ділянок голосового запису та ділянок, що містять приголосні чи шум за критерієм максимуму спектру.

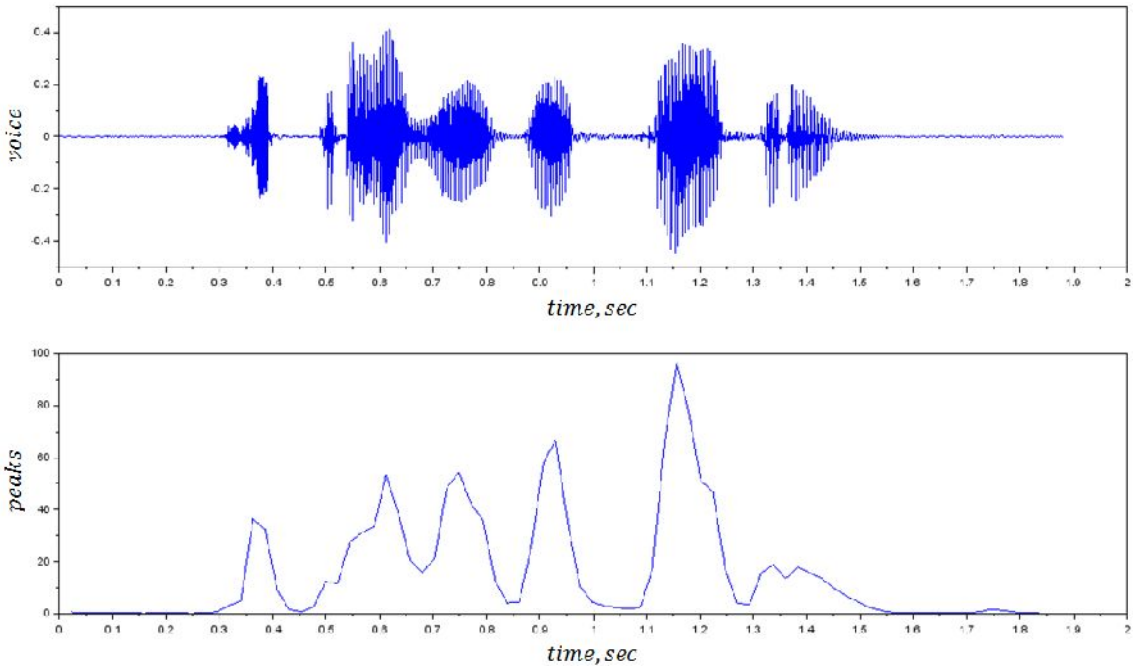


Рис. 3. Розподіл максимумів спектру голосового сигналу

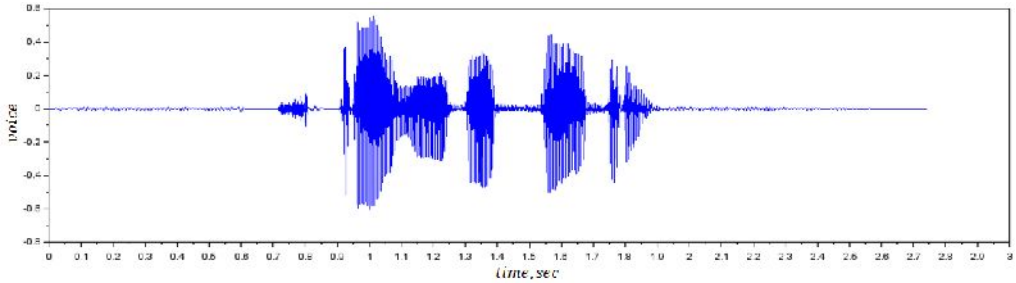
Дослідження проводилось на реальних акустичних записах голосових сигналів десяти дикторів різної статі та віку. У більшості дикторів структура отриманого масиву peaks має чітко виражені чотири піки, які відповідають за локалізацією голосним звукам «А», «И», «У» та «О». П’ятий пік, який відповідає голосному «Е» має значно меншу величину. До того ж досить часто його величина має незначну різницю з піком, що відповідає атаці звуку на початку фрази, і не є вокалізованою ділянкою.

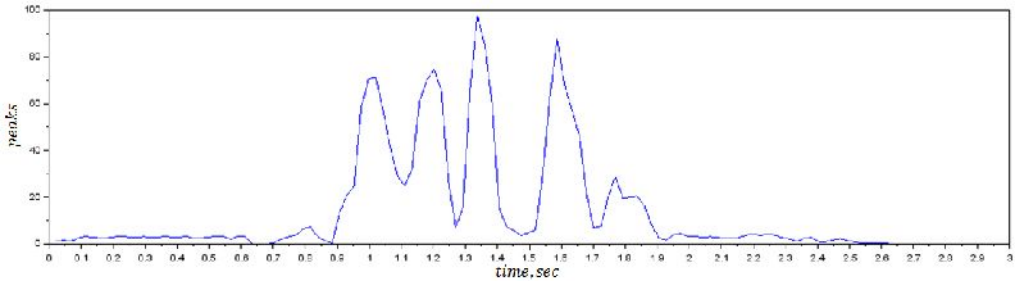
За показником максимуму спектру голосові сигнали не лише різних дикторів, а й одного і того ж диктора, можуть істотно відрізнятись (рис. 4). Тому встановлення меж, що визначають наявність чи відсутність вокалізованої ділянки у певній локалізації, на деякому чітко встановленому рівні вихідного масиву не є доцільним.

Визначення меж відсічення ділянок на рівні певного відсотка від максимального значення масиву peaks дало задовільні результати для ряду дикторів, однак не може використовуватись для загальної бази. Причиною цього є те, що досить часто значення максимуму тієї вокалізованої ділянки, на яку диктор робить логічний наголос у фразі, перевищують значення інших піків у декілька разів (рис. 5). Це унеможливлює визначення усіх інших вокалізованих ділянок, окрім тієї, що відповідає цьому логічному наголосу.

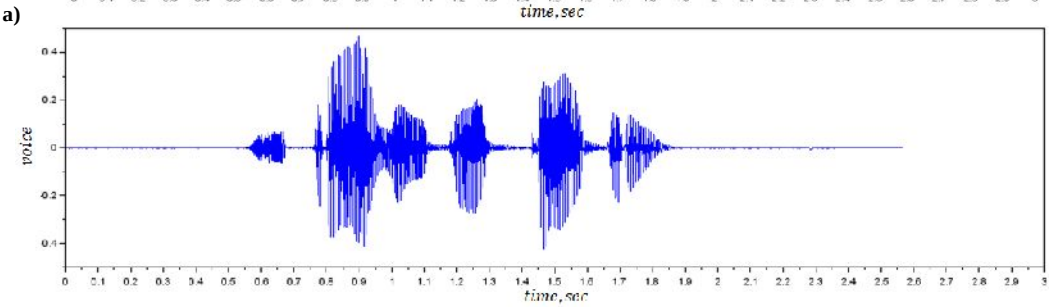
Аналіз отриманого масиву (рис. 7) показує, що від’ємні значення логарифмованого масиву $peaks$ відповідають ділянкам абсолютної тиші. Таким чином, даний масив може успішно використовуватись для визначення та видалення таких ділянок з голосового сигналу. Малі значення логарифмованого масиву $peaks$ відповідають ділянкам шуму чи шумним приголосним. Якщо існує необхідність видалення із сигналу таких ділянок – використання отриманого масиву також буде доцільним.

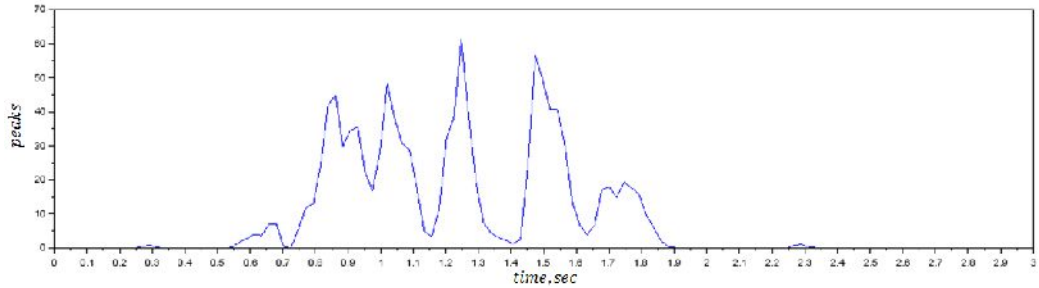
Локальні максимуми логарифмованого масиву peaks відповідають голосним звукам. Відмінність спостерігається лише для звуків «І» та «Е» у парольній фразі для більшості дикторів. У випадку звуку «І» це може бути пояснюватись тим, що досить часто при вимові парольної фрази людина вимовляє більш зручний сонорний приголосний «Й» на місті звуку «І» – отримується фраза «Справи Йдуть добре». У такому випадку для отриманого логарифмованого масиву ця ділянка сприймається як сонорний приголосний.



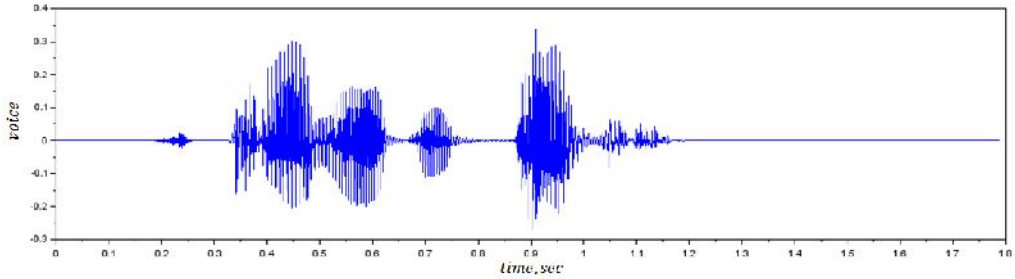


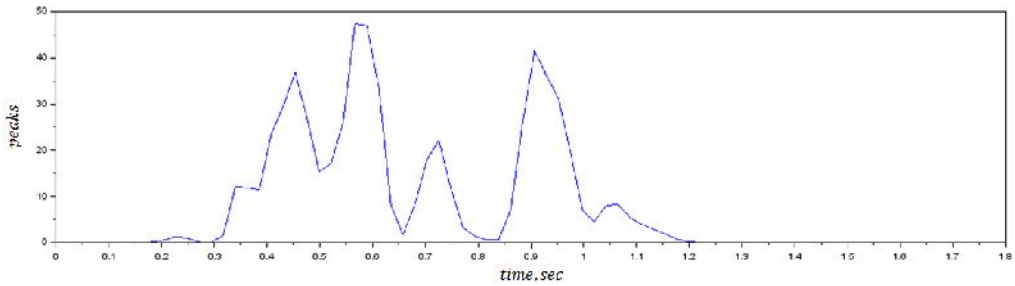
а)





б)





в)

Рис. 4. Масив peaks для диктора 1 (а-б); диктора 2 (в)

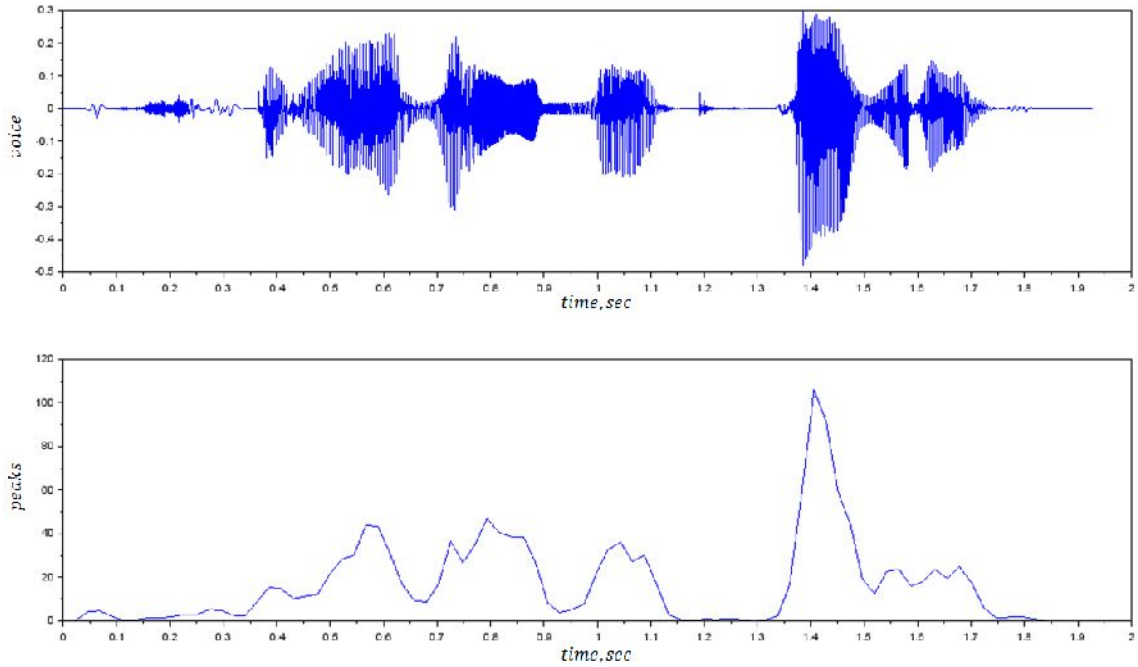


Рис. 5. Масив peaks за наявності логічного наголосу у фразі

З метою усунення усіх вищевказаних недоліків було вирішено першочергово визначати не межі вокалізованої ділянки, а її основну локалізацію – за локальним максимумом масиву peaks. Для зменшення впливу логічних наголосів було проведено процедуру логарифмування отриманого масиву. Приклад результату даної процедури подано на рис. 6-7.

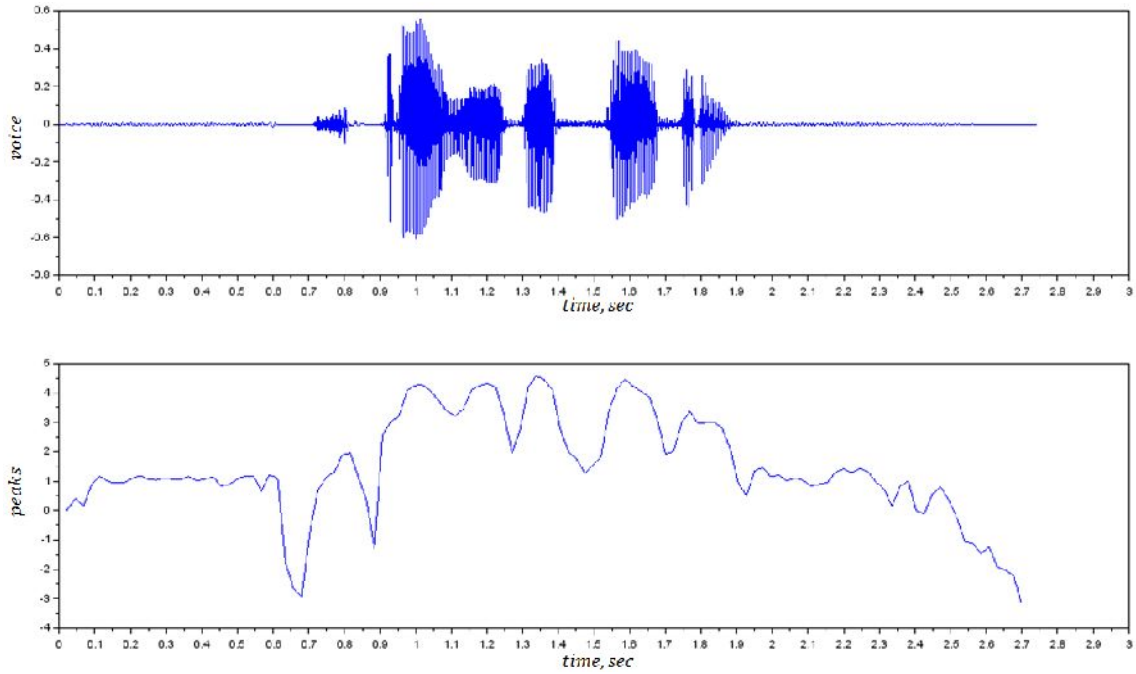


Рис. 6. Логарифмування масиву peaks

Аналогічна ситуація спостерігається для голосного звуку «Е», який слідує після двох сонорних приголосних – «Б» та «Р». Ще однією причиною низьких показників останнього звуку може бути те, що наприкінці фрази звук починає переходити у фазу гасіння, голосовий апарат використовує на нього менше енергії і він за характеристиками стає подібним до перехідного процесу. З іншого боку, якщо людина спеціально робить логічний наголос на даному звуці, характеристики його максимуму будуть на рівні інших голосних звуків парольної фрази.

З огляду на рис. 7., можна стверджувати, що рівні відсічення, які відповідають тиші, шуму, сонорним приголосним та голосним для різних дикторів також різняться. Тому встановлення певного чітко визначеного рівня з метою визначення меж вокалізованих ділянок не є доцільним. До того ж при встановленні такого рівня можливі помилкові відсічення частин вокалізованих ділянок поблизу перехідних процесів, або включення цих процесів у вокалізовані ділянки.

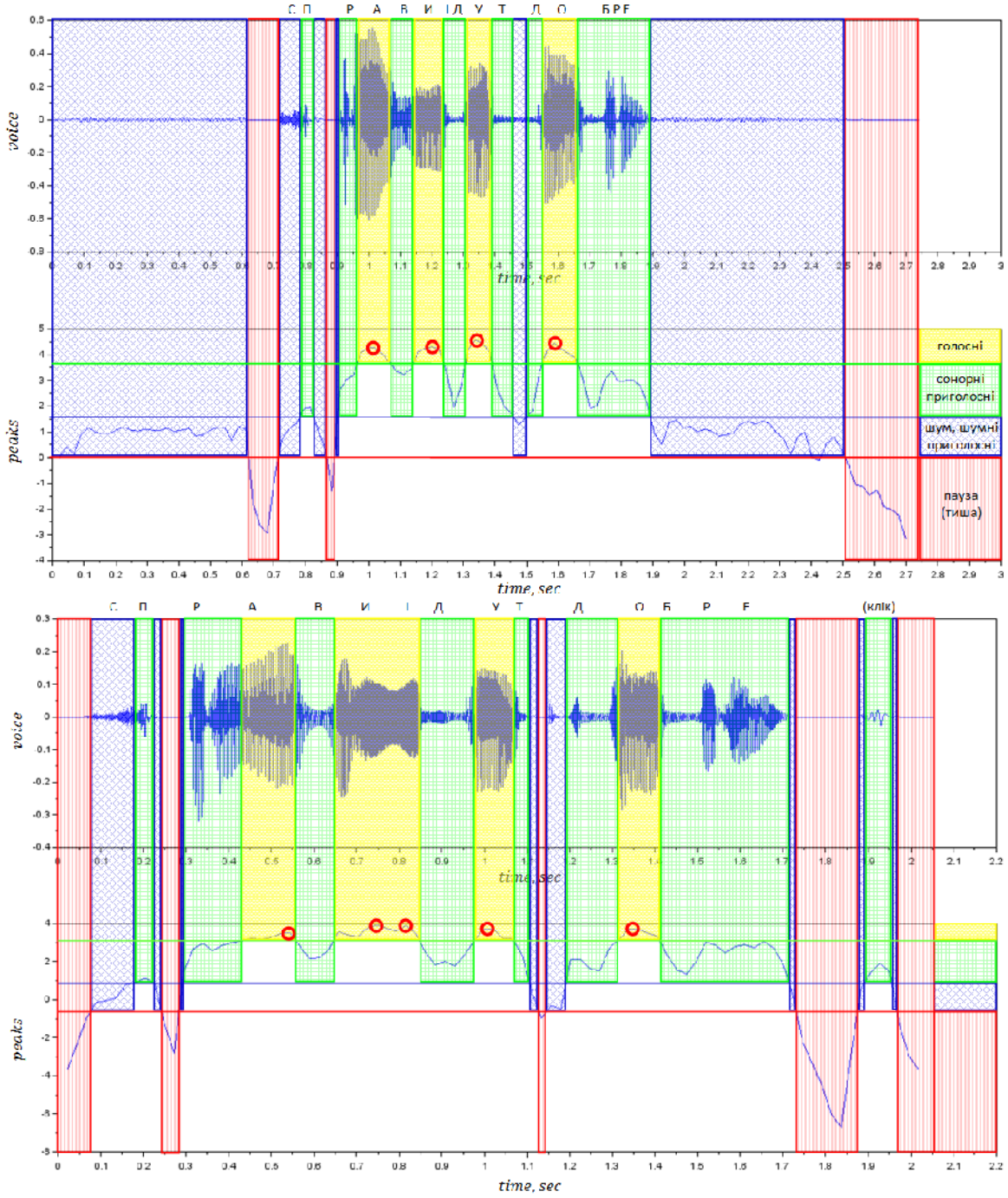


Рис. 7. Аналіз логарифмованого масиву peaks для двох дикторів різної статі та віку

Тим не менше, визначальним показником для вокалізованих ділянок у логарифмованому масиві peaks залишаються локальні максимуми. Їх знаходження однозначно визначає наявність вокалізованої ділянки навколо даної точки. Однак при їх визначенні виникає ряд складнощів.

По-перше, локальним максимумом вважається точка, у якій значення масиву peaks більше, ніж у попередній та наступній точках даного масиву. І таких точок у даному масиві буде дуже велика кількість, однак не усі вони відносяться до ділянок, що містять голосні звуки. Локальні максимуми із досить великим значенням спостерігаються не лише для голосних звуків, а й для сонорних приголосних. Тому виникає потреба визначення конкретних максимумів, що відповідають саме голосним звукам.

По-друге, досить часто в межах вимови одного голосного звуку можуть спостерігатися декілька локальних максимумів (рис. 8.). Найчастіше це не означає, що поряд знаходяться дві вокалізовані ділянки, а лише те, що в межах одного звуку наявні логічні наголоси чи певні зміни артикуляції. У той же час дві окремі вокалізовані ділянки можуть бути розмежовані доволі коротким інтервалом приголосних звуків, шумів чи тиші. Тому виникає необхідність визначення критерію розмежування, чи відносяться два сусідні локальні максимуми до одного голосного звуку, чи до двох різних.

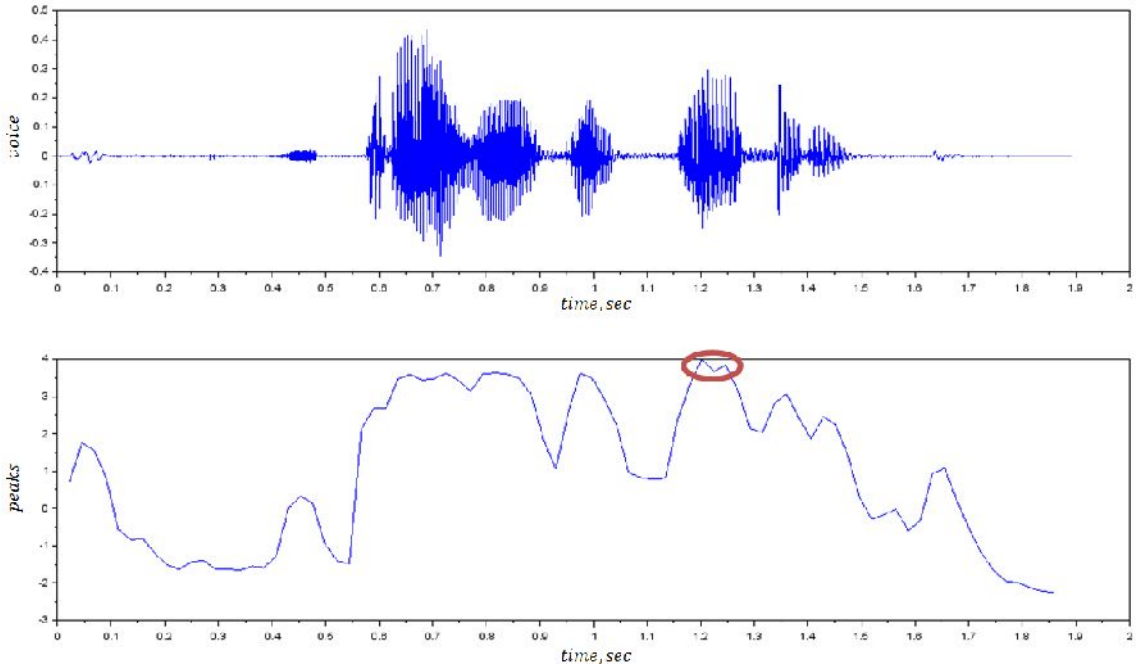


Рис. 8. Приклад утворення сусідніх локальних максимумів у межах однієї вокалізованої ділянки

Для розв'язання першої проблеми експериментально було встановлено часткову межу відсічення, нижче якої локальні максимуми вважаються такими, що не належать ділянкам, що містять голосні звуки. Для більшості акустичних матеріалів, що використовувались у дослідженні ця межа становила $\sqrt{3}/2$ від максимального значення масиву peaks.

Для розмежування двох сусідніх локальних максимумів визначалась відстань між ними у часовому просторі, або ж кількість точок між ними у масиві peaks. З урахуванням того, що локальні максимуми найчастіше виникають на початку чи в середині ділянки, що відповідає голосному звуку, і рідше – наприкінці цієї ділянки, то відстань між двома сусідніми максимумами повинна бути не меншою ніж середня тривалість вокалізованої ділянки. За даними літературних джерел ця тривалість складає 0,05-0,25 с, що відповідає кількості відліків від 1 до 5. Тобто, якщо відстань між двома сусідніми локальними максимумами не перевищує 5 точок масиву peaks, вважається, що вони належать до однієї вокалізованої ділянки.

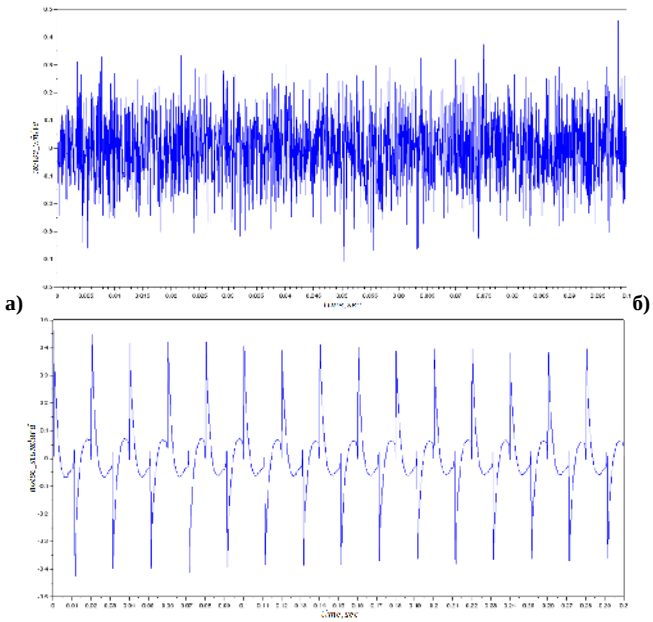


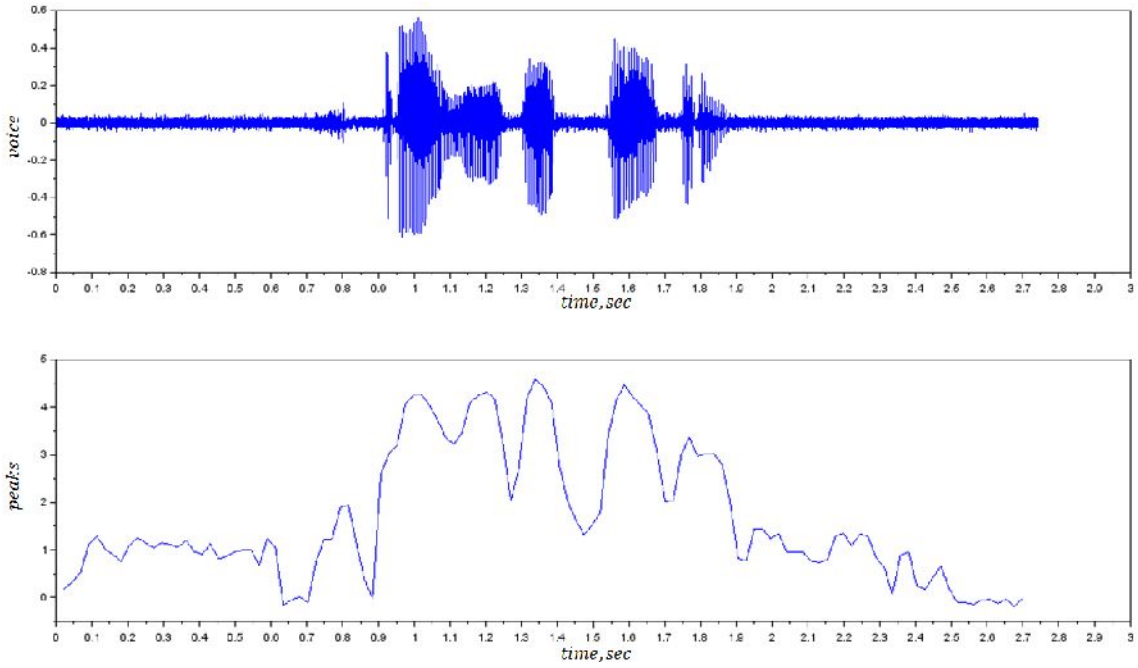
Рис. 9. Структура білого (а) та стаціонарного (б) шуму, які використовувались у дослідженні

При застосуванні описаних процедур на реальних голосових матеріалах дикторів, було визначено, що досить часто серед виділених локальних максимумів отримуються ті, що відповідають сонорним приголосним, які людина вимовляла з особливою чіткістю, зокрема «Р» на початку фрази. При цьому у більшості випадків голосний «Е» наприкінці фрази не потрапляв до виділених вокалізованих ділянок. З

огляду на те, що даний голосний має прикінцеве положення, що характеризується гасінням звуку та тим, що голосний «Е» має дуже стохастичну структуру, було прийнято рішення не використовувати даний звук для подальшого аналізу.

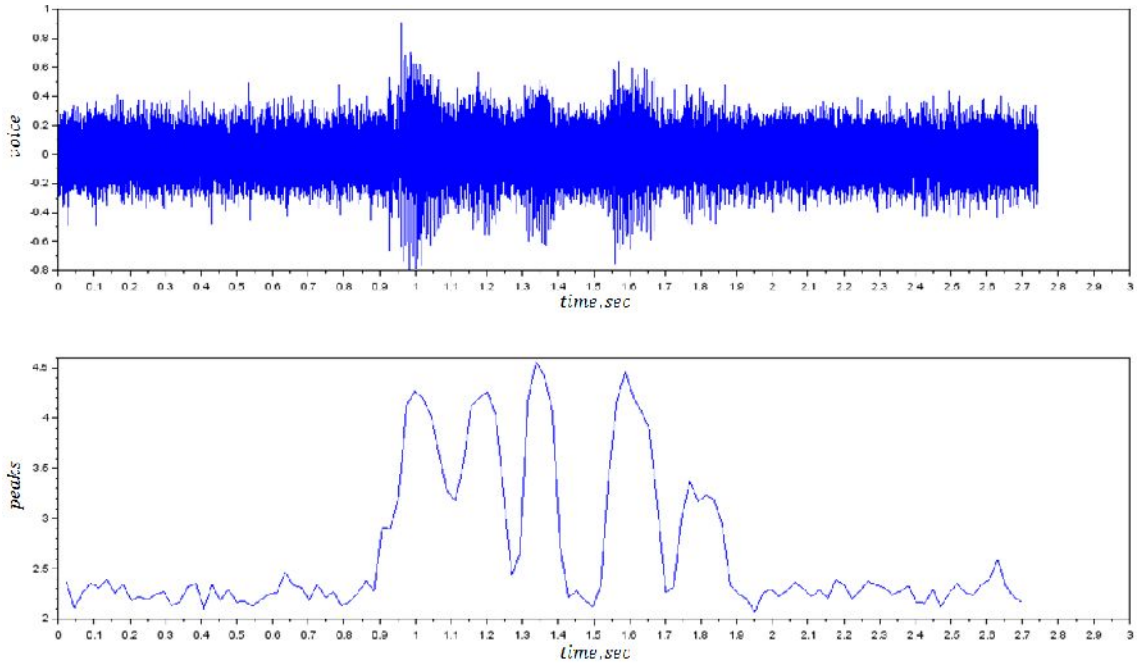
Апробація описаної першої частини алгоритмів сегментації проводилась на акустичних записах з низьким рівнем шуму. Для перевірки можливості використання цих алгоритмів для зашумлених сигналів до вже виконаних акустичних записів додавались два види шуму: білий шум та стаціонарний шум від мережі з частотою 50 Гц, який інколи наводився при записі (рис. 9).

Як видно з рис. 10., при різних рівнях білого шуму на записі чотири локальних максимуми, які відповідають голосним звуками «А», «И», «У» та «О» виділяються навіть більш чітко, ніж при низькому рівні шуму. Водночас при цьому підвищується також локальний рівень максимуму голосного «Е» наприкінці фрази.



а)

Рис. 10. Виділення локальних максимумів голосових сигналів з різним рівнем білого шуму а) 10дБ; б) 20дБ



б)

Рис. 10. Виділення локальних максимумів голосових сигналів з різним рівнем білого шуму а) 10дБ; б) 20дБ (прдовження)

При додаванні ж стаціонарного шуму низького рівня (рис. 11.) локальні максимуми чотирьох основних голосних звуків тестової фрази все ще розрізняються досить чітко. Однак при додаванні стаціонарного шуму, рівень якого сумісний з рівнем робочого сигналу, деякі з необхідних локальних максимумів можуть бути втрачені.

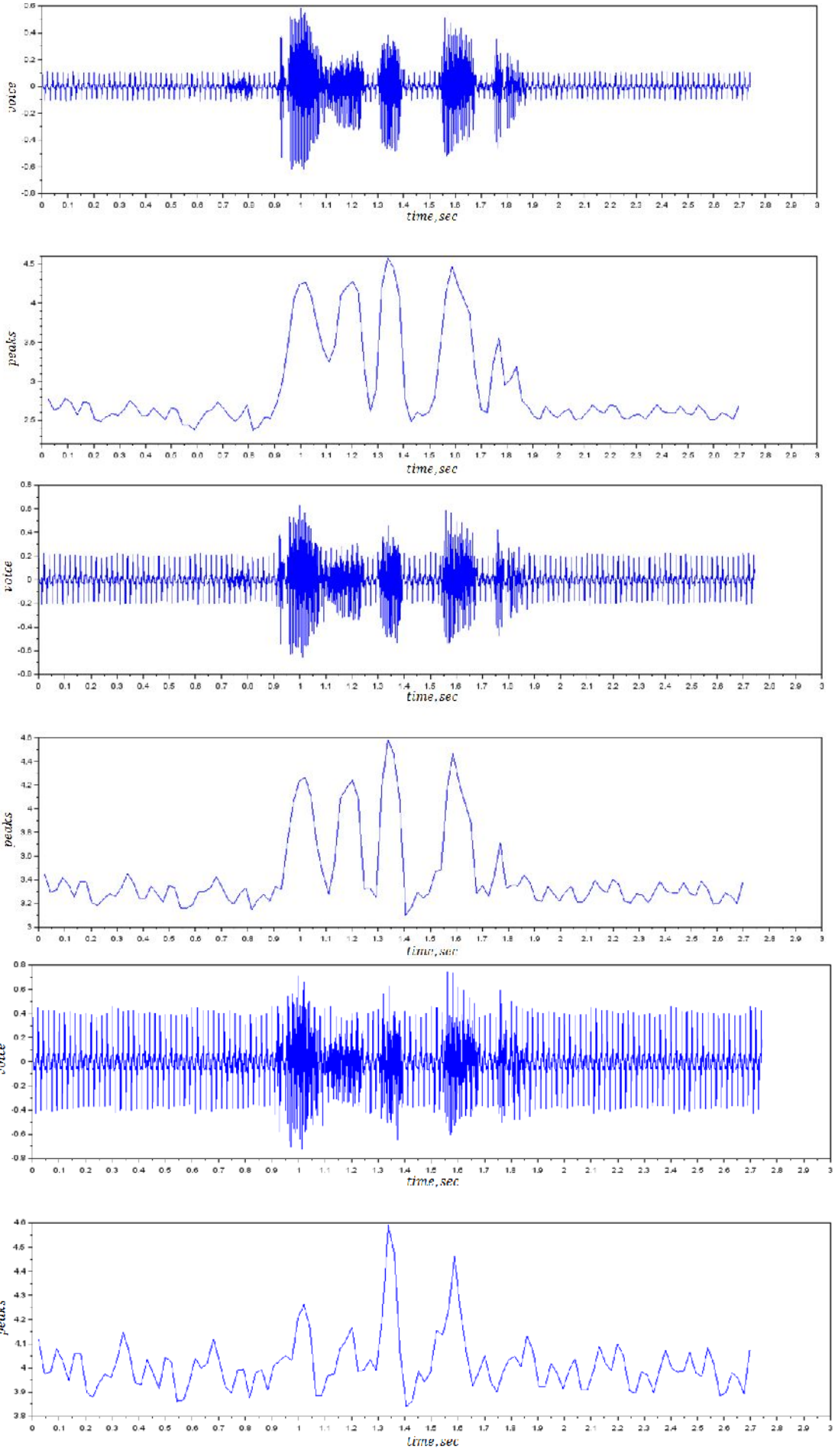


Рис. 11. Виділення локальних максимумів голосових сигналів з різним рівнем стаціонарного шуму а) 10дБ; б) 20дБ; в) 40дБ

Таким чином, розроблений метод локальних максимумів цілком доцільно використовувати для визначення локалізацій вокалізованих ділянок. Другий етап виділення вокалізованої ділянки передбачає амплітудне уточнення її меж поблизу визначених локалізацій. З цією метою використовується метод пошуку точки переходу сигналу.

Для більш структурованого виділення вокалізованої ділянки, вважатимемо, що вона складається з цілого числа одиничних коливань з квазіперіодичною структурою, які називаються фреймами [8]. Кожен фрейм починається у момент переходу сигналу з від'ємної області до додатної з подальшим максимальним збільшенням амплітуди (сплеском). Закінчується фрейм у момент переходу з від'ємної області у додатну, якому передує значне падіння сигналу у від'ємній області (рис. 12).

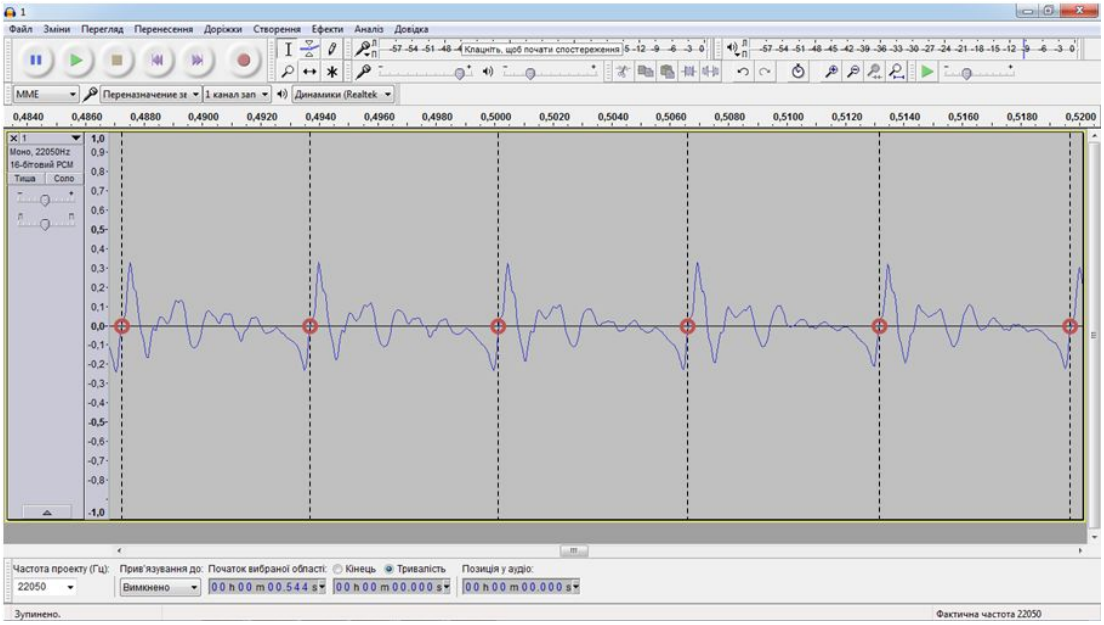


Рис. 12. Початкові та кінцеві моменти фреймів голосового сигналу (голосний звук «А» чоловічого голосу)

Для визначення початкового та кінцевого моменту вокалізованої ділянки голосовий сигнал поблизу кожного локального максимуму, визначеного за описаним вище методом, накривався прямокутним вікном. Ширина даного вікна оцінювалась за статистичними даними про тривалість голосних звуків та експериментальними даними, отриманими авторами у ході дослідження. На основі цих даних ширина вікна була обрана на рівні трішки меншому за 0,1 с, що за частоти дискретизації 22050 Гц відповідає 2200 відлікам сигналу. Вікно накладалось на голосовий сигнал таким чином, що локальний максимум спектру знаходився по центру вікна, тобто припускається, що локальний максимум знаходиться приблизно в центрі вокалізованої ділянки, яка рівномірно розподілена навколо нього (рис. 13).

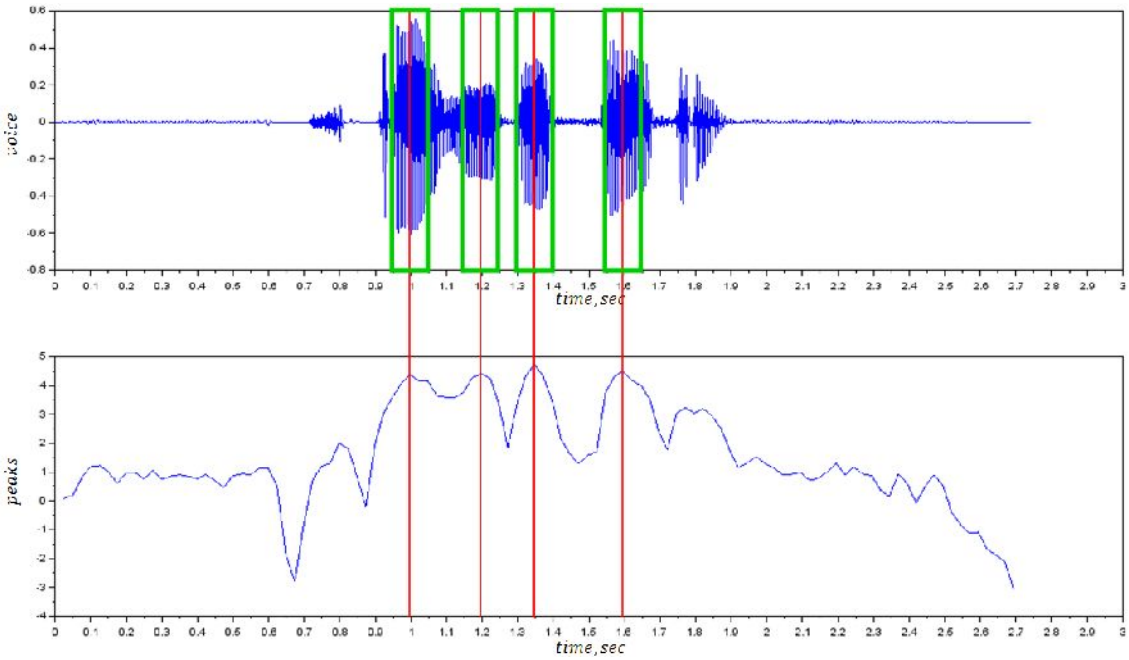


Рис. 13. Перекриття вокалізованих ділянок прямокутними вікнами

Далі визначається початковий момент вокалізованої ділянки. Для цього від початку кожного виділеного вікна сигналу визначається перший момент, в який значення сигналу перевищить певну встановлену межу. Межа ця встановлюється на рівні певного відсотка від максимального значення сигналу у межах виділеного вікна. Знаходження цього моменту означатиме, що було знайдено момент першого сплеску. Від нього необхідно повернутися до моменту переходу з від'ємної області до додатної. Знайдений момент переходу і буде вважатися початковим для вокалізованої ділянки.

Аналогічним чином визначається кінцевий момент вокалізованої ділянки голосового сигналу. Різниця полягає лише у тому, що в цьому випадку пошук починається з моменту кінця виділеного вікна у зворотному напрямі. У той момент, коли значення сигналу перевищить встановлену межу, вважається, що було знайдено момент останнього сплеску. Від нього необхідно продовжити рух у зворотному напрямі до моменту переходу сигналу з від'ємної області до додатної, який буде вважатись кінцевим для вокалізованої ділянки (рис. 14).

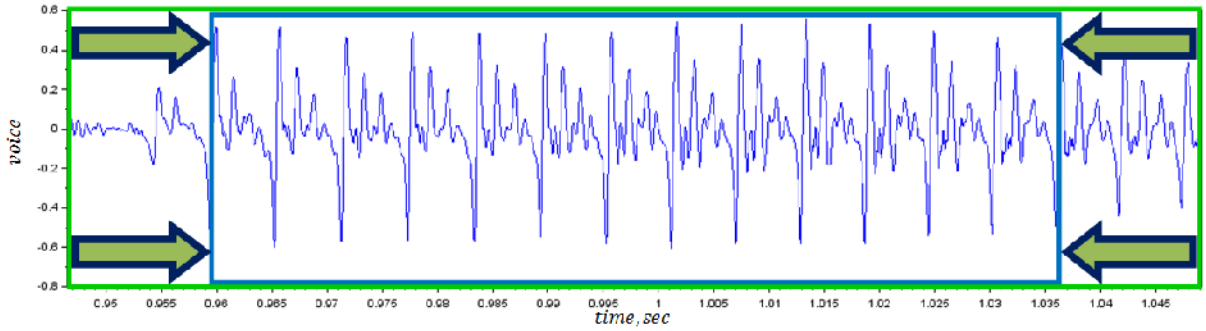


Рис. 14. Виділення вокалізованої ділянки голосового сигналу

На основі експериментальних досліджень на матеріалах акустичних записів було встановлено, що відсічення перехідних процесів на рівні 0,9 від максимального значення амплітуди вокалізованої ділянки дозволяє з найменшими втратами інформаційно важливих частин голосового сигналу виділити вокалізовані ділянки.

У результаті роботи розробленого авторського алгоритму з голосового сигналу виділяється вокалізована ділянка, що відповідає певному голосному звуку мови. Ця ділянка складається з цілого числа фреймів. Однак, як показує практика, в залежності від вимови звуку, параметри цих фреймів можуть відрізнятись та навіть змінюватись в динаміці вимови. Аналіз характеристик окремих вокалізованих ділянок голосових сигналів розглянуто авторами у дослідженнях [8, 9].

На початковому етапі дослідження алгоритм тестувався на парольній фразі «Справи ідуть добре». Окрім цього було проведено дослідження можливостей розробленого алгоритму на англомовних фразах, вимовлених носіями та не носіями мови (фрагменти пісень гуртів Nightwish, Metallica та Avenged Sevenfold, виконаних акапелла). Розроблені алгоритми показали достатню точність виділення вокалізованих ділянок, що підтверджує доцільність їх використання незалежно від статі, віку диктора, мови та тексту фрази, що аналізується. Приклад роботи розроблених алгоритмів для англомовної фрази подано на рис. 15.

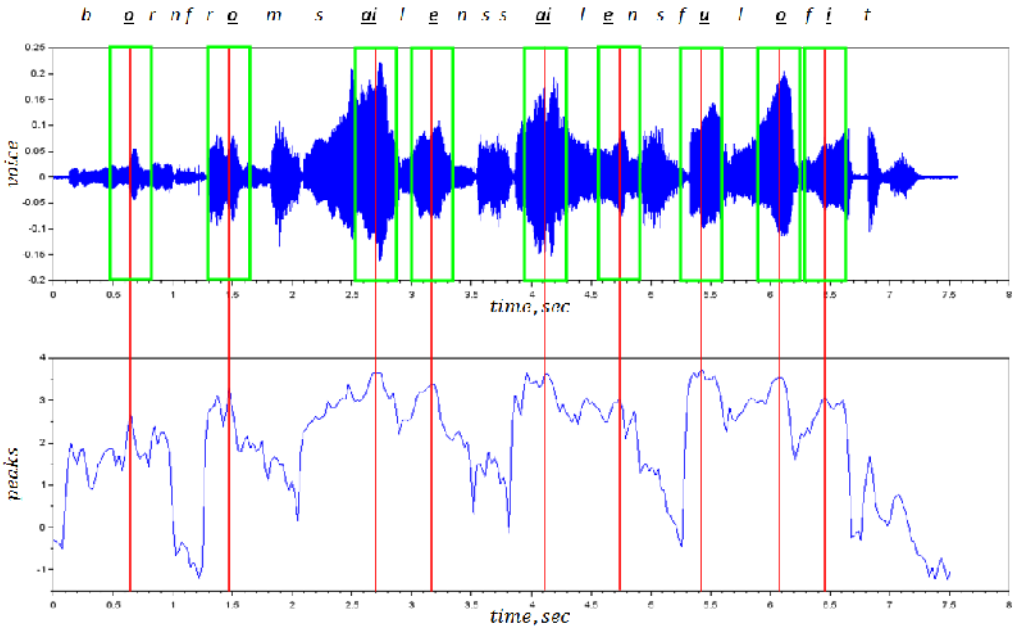


Рис. 15. Обробка фрагменту фрази «Born from silence, silence full of it»

Для визначення точності роботи необхідно порівняти результати автоматичної сегментації сигналу з аналогічними результатами, проведеними вручну. У такому випадку вона може бути визначена як відсоткове відношення тривалості автоматично виділеного сегменту до тривалості реального сегменту. У ході експериментального дослідження було визначено, що точність розроблених алгоритмів для великої кількості акустичних записів голосових сигналів різних людей переважно складає від 3 до 7,5%. Інколи мають місце розходження у результатах роботи розроблених алгоритмів, які сягають 15%, однак частота їх появи дуже мала.

Усі розроблені алгоритми мають програмну реалізацію у вигляді скрипт-файлу для пакету прикладних математичних програм SciLab 6.0.0. Даний скрипт-файл може використовуватись як самостійний програмний продукт, або як частина комплексної системи аналізу голосових сигналів. Приміром, у дослідженні авторів розроблений алгоритм використовується як початковий елемент обробки голосового сигналу для задачі аутентифікації водія та аналізу його стану безпосередньо під час виконання своїх професійних обов'язків.

Висновки. У ході дослідження було розроблено новий метод для розв'язання часткової задачі сегментації голосового сигналу. Даний метод орієнтується на виділення вокалізованих ділянок голосового сигналу на основі аналізу короткотривалого спектру сигналу. Основним критерієм розмежування вокалізованих ділянок та шумових ділянок сигналу є локальні максимуми короткотривалого спектру сигналу.

Авторами було розглянуто особливості використання розробленого методу на основі реальних акустичних сигналів. Було визначено критерії розмежування вокалізованих та шумових ділянок, а також двох суміжних вокалізованих ділянок. Також в алгоритмах передбачено усунення впливу логічних наголосів, однак на даному етапі не вирішено проблему виділення вокалізованих ділянок, що суміжні з атакою та гасінням звуку на початку та в кінці фрази. З іншого боку, експериментально встановлено, що розроблений алгоритм дає необхідні результати за різного рівня зашумленості робочого сигналу як білим, так і стаціонарним шумом.

Початкове дослідження проводилось на парольній фразі «Справи ідуть добре», яка містить усі голосні звуки української мови. Дослідження проводилось на акустичних матеріалах дикторів різного віку, статі та в приміщеннях з різними акустичними характеристиками. В усіх випадках розроблені алгоритми мали точність виділення вокалізованих ділянок від 3 до 7,5%, що є задовільним для задач аналізу голосового сигналу. У той же час дослідження розроблених алгоритмів на англомовному матеріалі також дає аналогічні за точністю результати. Це підтверджує, що розроблені алгоритми є універсальними і можуть використовуватись різними людьми, незалежно від віку, статі, антропометрії, умов запису, мови людини та тексту аналізованої фрази.

Література

1. Жиляков Е. Г. Сегментация речевых сигналов на основе анализа особенностей распределения долей энергии по частотным інтервалам / Е. Г. Жиляков, Е. И. Прохоренко, А. В. Болдышев, А.А. Фирсова, М. В. Фатова // Вестник НТУ ХПИ. – 2011. – № 17. – С. 44–50.
2. Вишнякова О.А. Алгоритм фонемной сегментации на основе анализа скорости изменения энергии дискретного вейвлет-перобразования / О.А. Вишнякова, Д.Н. Лавров // Вестник Омского университета. – 2011. – № 4. – С. 146–152.
3. Гай В.Е. Методика выделения в звуковом сигнале участков речевой активности / В.Е. Гай, В.А. Утробин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2011. – № 4 (20). – С. 85–94.
4. Сорокин В.Н. Сегментация и распознание гласных / В.Н. Сорокин, А.И. Цыплихин // Информационные процессы. – 2004. – № 2. Том 4. – С. 202–220.
5. Цыплихин А.И. Сегментация речи на кардинальные элементы / А.И. Цыплихин, В.Н. Сорокин // Информационные процессы. – 2006. – № 3. Том 6. – С. 177–207.
6. Семенов Г.А. Выявление порога чувствительности спектрального метода к поиску периодического сигнала в нормальном шуме / Г.А. Семенов // Известия АлтГУ. – 2011. – № 1-1. – С. 192–196.
7. Рабинер Л.Р. Цифровая обработка речевых сигналов / Рабинер Л.Р., Шафер Р.В. ; под ред. М.В. Назарова и Ю.Н. Прохорова. – М. : Радио и связь, 1981. – 496 с.
8. Mathematical model of human voice for the task of personal identification and human condition analysis / O.Yu. Mieshkov, O.O. Novikov // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2016. – № 1. – С. 163–169.
9. Oleksandr Yu. Mieshkov, Oleksandr O. Novikov, Vsevolod O. Novikov, Leonid S. Fainzilberg, Andrzej Kotyra, Saule Smailova, Ainur Kozbekova, Baglan Imanbek, "Identification and human condition analysis based on the human voice analysis", Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017, 104453T (7 August 2017); doi: 10.1117/12.2281003

References

1. Zhylyakov E. G., Proxorenko E. Y., Boldshev A. V., Fyrsova A. A., Fatova M. V. Segmentacyya rechevix sygnalov na osnove analyza osobennostej raspredelenyya dolej energyy po chastotnim yntervalam // Vestnyk NTU XPY. – 2011. – №17. – S.44-50.

2. Algorytm fonemnoj segmentacyy na osnove analyza skorosty yzmenenyya energyy dyskretnogo vejvlet-perobrazovanyya / O.A. Vyshnyakova, D.N. Lavrov // Vestnyk Omskogo unyversyteta. – 2011. – № 4. – S. 146-152.

3. Metodyka videlenyya v zvukovom sygnale uchastkov rechevoj aktyvnosty / V.E. Gaj, V.A. Utrobyn // Yzvestyya visshyx uchebnix zavedenyj. Povolzhskyj regyon. Texnycheskye nauky. – 2011. – № 4 (20). – S. 85-94.

4. Segmentacyya y raspoznanye glasnix / V.N. Sorokyn, A.Y. Cziplyxyn // Ynformacyonnie processi, Tom 4. – 2004. – № 2. – S. 202-220.

5. Segmentacyya rechy na kardynalne element // A.Y. Cziplyxyn, V.N. Sorokyn // Ynformacyonnie process, Tom 6. – 2006. – № 3. – S. 177-207.

6. Viyavlenye poroga chuvstvytelnosty spektralnogo metoda k poysku peryodycheskogo sygnala v normalnom shume / G.A.Semenov // Yzvestyya AltGU. – 2011. – № 1-1. – S.192-196.

7. Rabyner L.R., Shafer R.V. Cyfrovaya obrabotka rechevix sygnalov: Per. s angl. / Pod red. M.V.Nazarova y Yu.N.Proxorova. – M.: Radyo y svyaz, 1981. – 496 s.

8. Mathematical model of human voice for the task of personal identification and human condition analysis / O.Yu. Mieshkov, O.O. Novikov // Visnyk Xersonskogo nacionalnogo texnichnogo universytetu. – 2016. – № 1. – S.163-169.

9. Oleksandr Yu. Mieshkov, Oleksandr O. Novikov, Vsevolod O. Novikov, Leonid S. Fainzilberg, Andrzej Kotyra, Saule Smailova, Ainur Kozbekova, Baglan Imanbek, "Identification and human condition analysis based on the human voice analysis", Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017, 104453T (7 August 2017); doi: 10.1117/12.2281003

Рецензія/Peer review : 11.12.2017 р. Надрукована/Printed :27.03.2018 р.
Рецензент: д. ф.-м. н., проф. Коваленко В.Ф.

УДК 004: 338.48

Х.В. ЛІП'ЯНІНА
Тернопільський національний економічний університет

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНТЕРНЕТ-РЕСУРСІВ ТУРИСТИЧНОЇ ГАЛУЗІ

Проаналізовано існуючі методи аналізу функціонування інтернет-ресурсів туристичної галузі. Розглянуто за допомогою інструментів збору web-статистики виділено найбільш відвідувані сайти туристичної галузі України. Виокремлено основні тренди в замковому туризмі України за допомогою сервісу GoogleTrends.

Ключові слова: туристична галузь, інформаційна-технологія, SEO-методи, web-середовище, GoogleTrends.

LYPIANINA H.V.
Ternopil National Economic University

INFORMATION TECHNOLOGIES OF THE ANALYSIS OF INTERNET RESOURCE FUNCTIONING

The Internet is actively used - one of the most cost-effective ways of information placement and interaction between supplier and consumer of tourist services. Many tour companies are already present in the network, paying more attention to the presentation of tourist resources of their areas on the Internet and regional tourist administrations. The quality of tourism travel services is an important socio-economic task for every tourist recreation. Information and technical progress is today not only a key factor in ensuring the effective functioning of the tourism market, but also the most important condition for the process of its sustainable development. The purpose of this study is to test the capabilities of web technologies as a tool for the formation and development of a tourist complex. The existing methods of analysis of the functioning of Internet resources of the tourism industry are analyzed. The use of web statistics tools is considered. In order to increase and maintain the rating of the Internet resource it is necessary to pay attention not only to the quality of content filling, but also to other methods of search engine optimization (SEO). Dedicated basic SEO-methods of internal optimization of web resources. The main tendencies in the field of tourism of Ukraine with the help of Google Trends are outlined. Google Trends is a service that allows you to find out whether you are interested in queries or events that are popular geographically and in time. The requests of castles of the Western region of Ukraine among Ukrainian Internet users for the period from January 2017 to January 2018 are analysed. The findings of the study are that among the Ukrainian Internet users, the most popular are locks that are being restored. Travel companies are aware of the huge potential of the Internet as a marketing tool, which is both a means of communication and a means of business interaction. Thanks to the Internet technologies and marketing functions carried out through the Internet, a sharp increase in the use of the Internet has taken place, which is accelerated by the continuous development of the network resources themselves. With Google Trends, you can find out what's happening right now with search queries and analysing your data, making a prediction for the future.

Key words: tourist industry, information technology, SEO-methods, web-environment, Google Trends.

Вступ

Діяльнісна модель туризму, яка кваліфікується як комунікація, як суб'єктно-об'єктний простір, суб'єктне відношення презентує весь спектр системно-діяльнісних або полісистемних реалій рекламного простору, які можна назвати комунікативними в широкому розумінні.

Комунікативними не в плані засобів чи передачі інформації, а в плані неможливості існування без цієї інформації, у плані презентації єдності людського буття в контексті глибинних, фундаментальних архетипів культури, насамперед таких, як дім, дорога, діалог, промова і все те, що ми пов'язуємо з культурою як текстом, як засобом передачі інформації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Особливості застосування інтернету як засобу інформаційних технологій в структурі комунікаційної моделі туристичної галузі в Україні, недостатньо висвітлені в освітній і фаховій літературі, хоча багато науковців займаються розробкою та вивченням даного питання, зокрема Бойко Н.І. [1], Гряділь І.І. [2], Дергачова В.В. [3], Заплатинський В.М. [4], Павленко А.Ф. [5], Пілюшенко В. Л. [6], Сміт П. [7] та ін.

Мета дослідження

Метою даного дослідження є апробація на практиці можливостей web-технологій як інструментів формування і розвитку туристично-рекреаційного комплексу.

Виклад основного матеріалу

На імідж рекреації відчутно впливає функціонування інтернет-ресурсів, зокрема, web-система туристичного комплексу включає різні портали Департамент туризму та курортів, що в складі міністерства України (http://www.me.gov.ua), Сайт Україна туристична (http://www.turystam.in.ua), персональні сторінки на сайті Вікіпедія (https://uk.wikipedia.org), ресурси у соціальних мережах (Facebook.com, VK.com) та багато інших сайтів, що пропагують туристичні продукти України, деякі з них розглянемо детальніше за допомогою інструментів збору web-статистики як LiveInternet, GoogleAnalytics, Яндекс.Метрика, I.UA, top.bigmir та ін. (табл. 1).

SEO (англ. SearchEngineOptimization) – комплекс проведених заходів в мережі Інтернет для оптимізації і просування сайту або мобільного додатка в пошукових системах по певних запитах [9, 10]. SEO-промисловість має взаємозв'язок з інструментами і безпосередньо самою компанією Google, яка надала фахівцям з оптимізації сайтів вибір власних безкоштовних інструментів, що дозволяють SEO-співробітникам обробляти і аналізувати корисні дані.

Також необхідно враховувати, що результат аналітики SEO безпосередньо залежить від використання новітніх методологій та інструментаріїв, так як кінцевий продукт аналітики перетворюють в

бізнес-плани з розвитку веб-ресурсів, а саме розвиток в даному випадку мається на увазі під собою проходження актуальним трендам проектування сайтів або мобільних додатків .

Розглянемо основні SEO-методи внутрішньої оптимізації веб-ресурсів (табл. 2), які дозволяють досягти більшої конверсії за менший проміжок часу.

Таблиця 1

Місце в рейтингу подорожі за охопленням української аудиторії в top.bigmir станом на січень 2018 р. (складено на основі [8])

Позиція в рейтингу	Ресурс (показати опис)	Охоплення за30 днів*	Хостів з регіону	Всього хостів	% входів з України
1	Пам'ятки України https://ua.igotoworld.com/	1.24%	8 472	10 608	79.86%
2	Поїхали з нами – гарячі тури, горящі путівки https://www.poehalisnami.ua/	1.18%	9 693	11 605	83.52%
3	Doroga.UA - путівник по Україні http://www.doroga.ua/	0 81%	5 661	6 830	82.88%
4	Навколо світу https://vokrugsveta.ua/	0.56%	1 168	1 655	70.57%
5	ТУРНЕ – портал відпочинку та туризму! Гарячі путівки https://www.turne.com.ua/	050%	3211	4 040	79.48%
6	Пілігрим – онлайн-магазин подорожей. Просто вибери тур на свій смак і бюджет! https://piligrim.ua/	0.17%	1 408	1 859	75.74%
7	Айті-тур – система пошуку і бронювання турів http://www.ittour.com.ua/	0.14%	3 809	4 703	80.99%
8	Турагентство МАНСАНА. Тури до Єгипту. Туреччини, ОАЕ та ін. Країни http://www.mansana.com/	0.13%	844	1 061	79.55%
9	TurMir.com - Портал вибору туру і місця відпочинку, фото, відгуки, готелі, турфірми. візи http://turmir.com/	0.13%	1 956	2 276	85.94%
10	VsiTury.com.ua – Туристичний портал http://vsitury.com.ua/	0.11%	635	761	83.44%

Таблиця 2

Основні SEO-методи внутрішньої оптимізації веб-ресурсів (розроблено на основі [11])

Метод	Описання
Використання заголовків	Використання заголовків (до найвищих розмірів) може допомогти привести до того, щоб сторінка високо ранжувати у видачі пошукових систем незалежно від пристрою або браузера користувача.
Показник (CRO) - коефіцієнт конверсії оптимізації	CRO (англ. - ConversionRateOptimization) - трендовий термін 2015 року, що оцінює ефективність оптимізації ресурсу за показниками конверсії, оптимізація показника конверсії [5]. Конверсія кожного сайту (відношення числа користувачів, які здійснили покупку товару або послуги на вашому сайті, до числа користувачів, які прийшли на ресурс по рекламному посиланню, оголошенню або банеру) вимірюється по-своєму і залежить від цілей і специфіки сайту.
Локальний пошук	Мобільні персональні помічники (Siri, Microsoft Cortana) викликали ажіотаж серед користувачів і розробників пошукових алгоритмів.
Розмежування етапу пошуку і етапу покупки	Сучасний підхід до SEO – це розмежування призначеного для користувача шляху на етап пошуку і етап покупки. Фахівці в області SEO давно використовують цей принцип оптимізації, розмежовуючи комерційні та інформаційні запити. Таргетування (встановлення цільових орієнтирів грошової системи) може брати до уваги типові для користувача шляху, характерні сайту, і розуміння цілей / конверсії.
Інтерактивність контенту.	Інфографіка, яка найчастіше використовується в продажах, не отримала серйозного поширення у користувачів інтернету. Віддається перевага інтерактивного контенту: інтелектуальні вікторини, забавні тести, ігри та інше.

Для розробників web-ресурсів немає необхідності вивчати і застосовувати складні статистичні методи для знаходження трендів, досить побачити тенденцію збільшення або зменшення інтересу до того чи іншого явища у вигляді графіків і відреагувати на них. З цією метою можна використовувати аналітичний інструментарій збору статистики відомих пошукових систем. В даний час найбільш розвиненою системою є служба GoogleTrends.

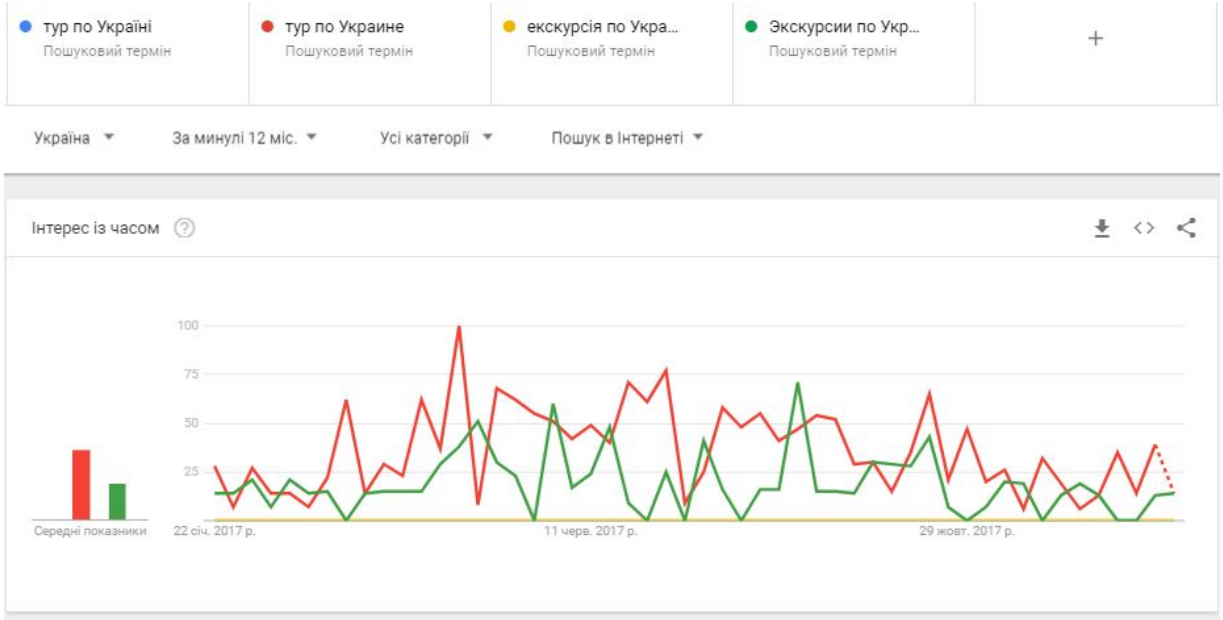


Рис. 1. Динаміка пошукових запитів користувачів по словосполученні «тур по Україні» та «екскурсія по Україні» українською та російською мовами по Україні за період січня 2017 – січень 2018, сервісу GoogleTrends

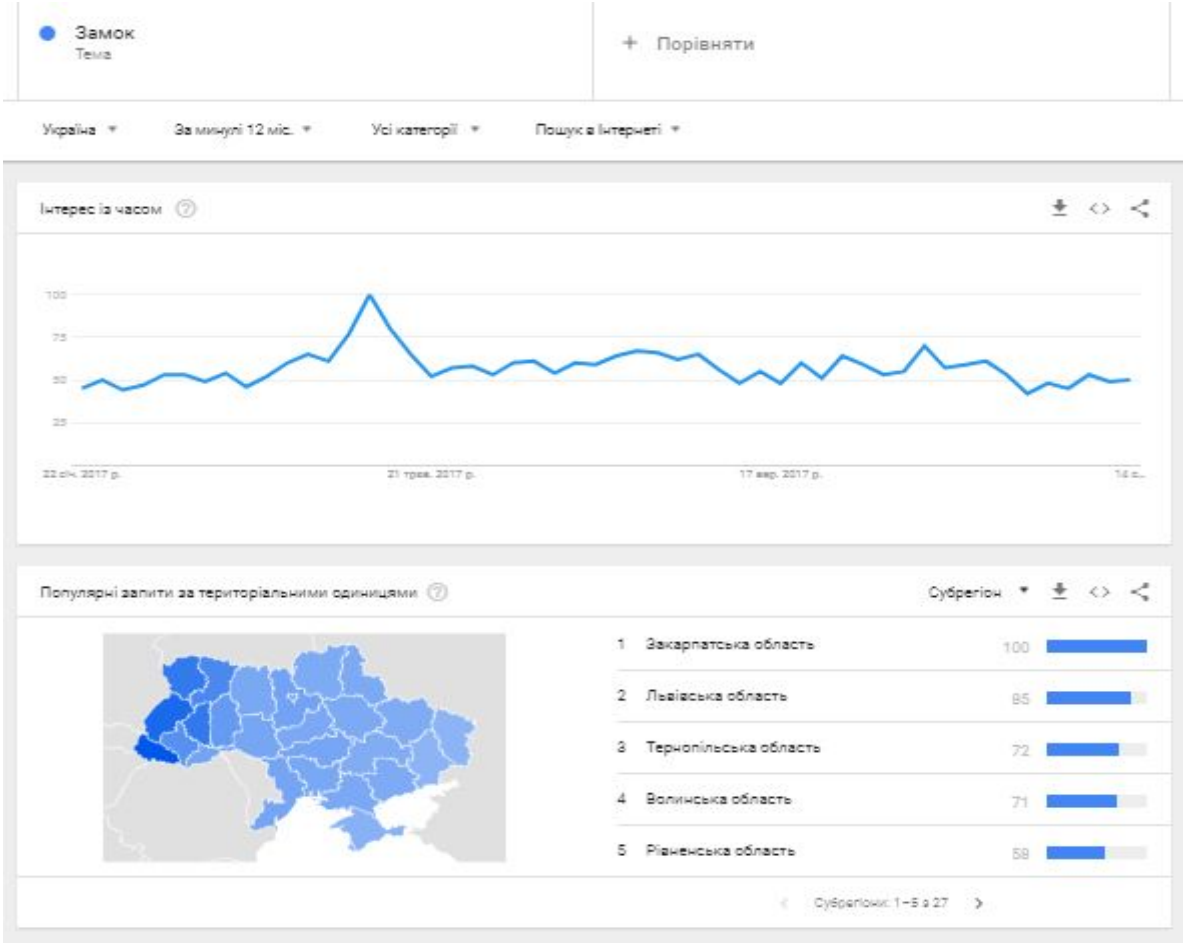


Рис. 2. Динаміка пошукових запитів користувачів по слову «замок» на українській та російській мові по Україні за період з січня 2017 до січня 2018, сервісу GoogleTrends

GoogleTrends – простий і зручний інструмент для аналізу популярності і сезонності пошукових запитів. Завдання які можна виконати: визначити популярність теми і існуючі тренди; провести аналіз сезонності на своєму ринку; оцінити вплив географічних даних на популярність певних пошукових запитів або теми в цілому.

GoogleTrends не призначений для збору або аналізу частотності великої кількості пошукових запитів, тому деякі інтернет-маркетологи його ігнорують. Але для аналізу сезонності, поточних трендів або прогнозування попиту – це один з кращих безкоштовних інструментів.

Отже, розглянемо основні тренди в туристичній галузі України за допомогою сервісу GoogleTrends, що дасть нам можливість проаналізувати, які напрями найбільш цікавлять аудиторію, зокрема виділимо найпопулярніші туристичні рекреації. Аналіз проведемо двома мовами.

Аналіз пошукових запитів «тур по Україні» та «екскурсія по Україні», станом на січень 2018 року, дав такі результати (рис. 1).

Запит «тур по Україні» російською мовою по Україні за період січня 2017 – січень 2018 мав пік за популярністю (100%) приблизно у квітні 2017 року, після чого проглядаються виразні спади. Найсильніший тип запиту присутній у м. Києві. Запит «тур по Україні» українською мовою по Україні, за це й же період, не дав жодних результатів по популярності, регіонам, схожим тематикам чи схожим запитам.

Запит «екскурсія по Україні» російською мовою по Україні за період (січень 2017 – січень 2018) мав пік за популярністю (75%) приблизно у серпні 2017 року, після чого проглядаються виразний спад. Найсильніший тип запиту присутній у м. Києві та Дніпропетровській області. Серед схожих запитів була лише «екскурсії по Україні з Києва» російською мовою. Запит «тур по Україні» українською мовою по Україні, за це й же період, не дав жодних результатів по популярності, регіонам, схожим тематикам чи схожим запитам.

Розглянемо більш детальніше запити про туристичні рекреації по обласним регіонах України, а саме про замки.

Запит «Замок» (рис. 2) українською мовою по Україні за період січня 2017 – січень 2018 мав пік за популярністю (100%) приблизно кінець квітня початок травня 2017 року, після чого проглядаються виразні спади. Міста, у яких даний тип запиту найсильніший (від більшого до меншого): Закарпатська обл., Львівська обл., Тернопільська обл., Волинська обл., Рівненська обл., Івано-Франківська обл., Хмельницька обл., місто Київ, Київська обл., Чернівецька обл., Одеська обл., Вінницька обл., Кіровоградська обл., Житомирська обл., Миколаївська обл., Черкаська обл., Херсонська обл., Полтавська обл., Сумська обл., Чернігівська обл., Запорізька обл., Харківська обл., Дніпропетровська обл., місто Севастополь, Крим, Луганська обл., Донецька обл.

Далі, в кожній області виділимо найпопулярніші замки, серед українських користувачів інтернету (табл. 3).

Таблиця 3

Найпопулярніші запити замків Західного регіону України, серед українських користувачів інтернету за період січня 2017 – січень 2018, сервісу GoogleTrends

Замок (Запит)	Обласний центр	Стан
Замок Шенборнов	Закарпаття	Відреставрований
Тараканівський форт	Рівненська	Реставрується
Кам’янець-Подільська фортеця	Хмельницький	Відреставрований
Підгорецький замок	Львівщина	Відреставрований
Замок Любарта	Волинь	Відреставрований
Тернопільський замок	Тернопільщина	Відреставрований
Хотин	Буковина	Відреставрований
Пнівський замок	Прикарпаття	Реставрується

Висновки

Проаналізувавши результати, ми бачимо, що по запитах замків Західного регіону України,серед українських користувачів інтернету за період р січня 2017 до січня 2018, сервісу GoogleTrends, найпопулярнішими є замки, що реставруються.

На Західній Україні збереглися цікаві та мальовничі замки майже на всій її території. Проте, усі вони потребують інформаційної уваги. Це буде запорукою постійної уваги та потужного туристичного потоку. У цьому контексті нам є чого навчитись у іноземних колег, але про це іншим разом.

На перший погляд, функціонал GoogleTrends досить простий і примітивний. Здається, що не дуже-то і інформативний, але це далеко не так. Даний сервіс дає можливість переглянути статистику пошукових запитів Google в минулому, дізнатися, що відбувається зараз і, провівши аналіз отриманих даних, зробити прогноз на майбутнє.

Література

1. Бойко Н.І. Роль інформаційних та комунікаційних технологій в маркетингових каналах сучасних підприємств / Н.І. Бойко // Вісник. Сер.: Економ. – Львів, 2005. – Вип. 17. – С. 399–401. – ISBN 966-8340-63-9

2. Гряділь І.І. Нові інформаційні технології / І.І. Гряділь, С.І Гряділь. – Ужгород : Закарпаття, 2002. – С. 54–55. – ISBN 966-7703-41-X.

3. Дергачова В.В. Глобалізація бізнесу та інтернет-маркетинг: перспективи і проблеми / В.В Дергачова, О.О. Скибіна / Донец. держ. ун-т економіки і торгівлі ім. Туган-Барановського. – Донецьк,

2007. – 215 с. : рис., табл. – С. 181–191. – ISBN 966-385-044-3

4. Заплатинський В.М. INTERNET-сучасна інформаційна технологія для маркетингу / В.М. Заплатинський // Маркетинг та логістика в системі менеджменту. – Львів, 1998. – С. 181–182. – ISBN 978-966-553-743-4

5. Павленко А.Ф. Маркетингові комунікації: сучасна теорія і практика / Павленко А.Ф., Войчак А.В., Примак Т.О. ; КНЕУ ім. В.Гетьмана. – К., 2005. – С. 386–402. – ISBN 966-574-801-7

6. Пілюшенко В. Л. Інформаційні технології у маркетингу і рекламі : навч. посіб. / Донецький держ. ун-т управління. – Донецьк : ДонДУУ, 2005. – С. 204. – ISBN 966-430-002-0

7. Смит П. Коммуникации стратегического маркетинга / Смит П., Бэрри К., Пулфорд А. / под ред. Л.Ф. Никулина ; [пер. с англ. В.Н. Егорова]. – М. : Юнити, 2001. – 414 с. – ISBN 5-238-00244-0.

8. Рейтинг bigmir.net [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://top.bigmir.net/show/travel/.

9. Работа SEO-специалиста [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://devaka.ru/articles/seo-hours

10. Гороховский А. Продвижение порталов и интернет-магазинов / А. Гороховский. – Київ : ДМК Пресс, 2016. – 324 с.

11. Мороз С. Н. SEO-тренды для оптимизации веб-ресурсов / С. Н. Мороз, В. И. Мельник // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2016. – № 3. – С. 43–47.

References

1. Bojko N.I. Rol‘ informacijny‘x ta komunikacijny‘x texnologij v markety‘ngovy‘x kanalax suchasny‘x pidpry‘yemstv. Visnyk. Economic sciences. Lviv. 2015. Volume 17. pp. 399–401.

2. Gryadil‘ I.I., Gryadil‘ S.I. Novi informacijni texnologiyi. Transcarpathia. Uzhgorod. 2002. pp. 54–55.

3. Dergachova V.V., Sky‘bina O.O. Globalizaciya biznesu ta internet-markety‘ng : perspekty‘vy‘ i problemy‘. Donetsk State University of Economics and Trade them. Tugan-Baranovsky. Donetsk. 2007. pp. 181-191.

4. Zaplaty‘ns‘ky‘j V.M. INTERNET-suchasna informacijna texnologiya dlya markety‘ngu. Marketing and logistics in the management system. Lviv. 1998. pp. 181–182.

5. Pavlenko A.F. Vojchak A.V., Pry‘mak T.O. Markety‘ngovi komunikaciyi: suchasna teoriya i prakty‘ka. KNEU them. V. Hetman. Kyiv. 2005. pp. 386-402.

6. Pilyushenko V. L. Informacijni texnologiyi u markety‘ngu i reklami. Donetsk state un-t management. Donetsk. 2005. p. 204.

7. Smy‘t P., Berry‘ K., Pulford A, (2001) Kommuny‘kacy‘y‘ strategy‘ cheskogo markety‘nga. Unit. Moscow. 2001. p. 414.

8. Rejty‘ng bigmir.net. URL: http://top.bigmir.net/show/travel/.

9. Rabota SEO-specy‘aly‘sta. URL: https://devaka.ru/articles/seo-hours

10. Goroxovsky‘j A. Prodvyzhenyeportalov y ynternet-magazy‘nov.DMC Press. Kyiv. 2016. p.324

11. Moroz S. N., Mel‘nyk V.Y. SEO-TRENDY DLYa OPTY‘MY‘ZACY‘Y‘ VEB-RESURSOV. Telecommunication and information technologies. Kyiv. 2016. Volume 3. pp. 43–47.

Рецензія/Peer review : 09.02.2018 р. Надрукована/Printed :22.03.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 004.422.8

О.О. КОВАЛЕНКО, А.В. ДЕНИСЮК, Д.В. ОСТАПІВ
Вінницький національний технічний університет

МОДЕЛІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ТА МОНІТОРИНГУ РЕЗУЛЬТАТІВ ДІЯЛЬНОСТІ ПРАЦІВНИКІВ

Автоматизація обліку робочого часу та завантаження працівників є актуальною як для здійснення формальних процедур обліку, так і для підвищення ефективності різноманітної діяльності працівників. Така система є основою для системи мотивації працівників. Вона дозволяє сформувати комплексну систему відповідності завантаження та результатів діяльності персоналу, оцінювання продуктивності праці, різних видів діяльності працівників. Існуючі готові програмні рішення (в більшості) мають універсальні функції. Такі функції або є надлишковими, або не відповідають специфіці діяльності організації. Стаття містить приклад моделі системи моніторингу для вищого навчального закладу.

Ключові слова: облік робочого часу, облік за видами діяльності, програмний продукт обліку, інтерфейс системи моніторингу, ключові індикатори результатів.

O. KOVALENKO, A. DENYSYUK , D. OSTAPIV
Vinnytsia National Technical University

MODELS OF SOFTWARE ACCOUNTING SYSTEM AND MONITORING OF RESULTS OF ACTIVITY OF EMPLOYEES

The automation of the accounting of working time and the loading of employees is relevant for the implementation of formal accounting procedures, their compliance with the regulatory framework, and also this system is the basis for the system of employee motivation, the formation of a comprehensive system of compliance of the load and the results of the personnel activities, assessment of labour productivity. Existing ready-made software solutions have universal features. These functions are superfluous to implement the "universality" property, and also do not always match the specifics of the organization. The article contains an example of a monitoring system model for a higher education institution. The results of the study include the main target models of the system of managerial accounting and monitoring for a higher educational institution at the department, faculty, and university level. The general target model of the teacher's activity is presented in the form of an Ishikawa chart. Above the "skeleton of a fish" the main activities of the teacher are defined, they fill working hours, and under the "skeleton of fish" are the results of the activity in relation to each species. The model is based on the scenario of waiting for the following results: an increase in the rating of a higher educational institution among others, the development of its brand, popularity, an increase in the number of students, orders for research work; personal achievements of each teacher and department in scientific and educational-methodical activity.

Keywords: accounting of working time, accounting by types of activity, program product of the account, the interface of the monitoring system, key indicators of the results.

Постановка проблеми

Серед великої низки сучасних програмних продуктів обліку робочого часу, актуальними на сьогоднішній день є системи моніторингу діяльності працівників, які дозволяють реалізувати функцію контролю за обсягом робочого часу, видами діяльності, результатами виконаних завдань та стати частиною комплексною системи мотивації та управління персоналу. Прозора система моніторингу дозволить також реалізувати функцію мотивації працівників за рахунок системи обліку завдань, рівня виконання плану, рейтингу працівників за результатами діяльності. Зручний інтерфейс та визначені індикативні показники дозволять ефективно формувати електронні документи для нарахування заробітної плати та додаткових виплат, а і сформувати достатньо об’єктивний рейтинг працівників за результатами діяльності. Такий підхід до формування програмного продукту моніторингу дозволить не тільки автоматизувати процеси обліку та організувати сучасний моніторинг завантаженості персоналу, а і пов‘язати одержані дані з системою мотивації та управління персоналом як на підприємстві або установі, так і в будь-якому проекті

Аналіз останніх джерел

Для формування головної гіпотези та моделей системи обліку та моніторингу діяльності працівників були використані результати досліджень особливостей процесів обліку в роботах таких вчених, як Т. Красюк, Л. Семко, В. Бобиль, Р. Островерха, Н. Потриваєва, Н. Каткова, Л. Герасимчук [1–7], специфіки процесів автоматизації обліку та моніторингу, створення моделей інформаційних систем таких науковців як М. Бенько, О. Верес, С. Турчин [8–11]. Крім того, були проаналізовані існуючі програмні продукти обліку робочого часу та нарахування заробітної плати [12, 13], використано досвід моделювання інформаційних потоків та методології їх візуального представлення [14, 15].

Результати аналізу відкритих джерел за темою дослідження дозволяють зробити висновок щодо необхідності удосконалення підходів до створення програмних продуктів обліку та моніторингу завантаження працівників з врахуванням особливостей окремих груп підприємств та організацій (наприклад, проектні організації, навчальні заклади, середні та малі підприємства тощо), а також з врахуванням ефективної реалізації функцій менеджменту, акцентуючи увагу на функціях контролю та мотивації.

Мета досліджень, постановка задачі

Метою досліджень є створення моделей для програмного продукту обліку та моніторингу завантаження працівників.

Головною гіпотезою досліджень є створення програмного продукту обліку та моніторингу

завантаження працівників, який буде побудований відповідно до основних процесів завантаження, що мають вплив на оплату праці, підтвердження кваліфікації; буде мати подружній інтерфейс та працювати як окремий модуль та як складова комплексної системи управління персоналом.

Виклад основного матеріалу результатів дослідження

Облік робочого часу може носити формальний характер, що, як правило фіксується в табелі робочого часу і управлінський характер, що передбачає його використання для досягнення поставлених цілей та завдань, виконання різних видів діяльності. Так, наприклад, для науково-педагогічних працівників вищих навчальних закладів робочий час передбачає різні за характером роботи – від аудиторних занять до наукових досліджень, написання монографій, підручників тощо [1].

Якщо ми ставимо метою закладання в програмі методів та моделей стимулювання праці, то доцільно використати відомі моделі, серед яких можна виокремити такі, як безпреміальна, преміальна, що залежить від розміру доходу або прибутку організації; преміальна за індивідуальними результатами, преміальна, в межах визначеного проекту [2, 3].

Крім того, доцільно також використовувати досвід оплати праці зарубіжних країн, а саме такі принципи як:

- заробітна плата кожного працівника має бути встановлена індивідуально;
- перегляд заробітної плати робітників проводиться один раз на рік;
- застосовуються системи матеріального заохочення для різних категорій працівників;
- рівень заробітної плати має відображати досягнення та мотивацію працівника.
- заходи моніторингу та контролю, спрямовані на вдосконалення оплати праці, містять насамперед забезпечення залежності розмірів заробітної плати від особистого внеску працівників у результати праці [4–7].

На рис. 1. представлено удосконалену модель управлінського обліку завантаження працівників.

Загальна модель програмного продукту управлінського обліку завантаження працівників повинна базуватись на моделі інформаційної системи обліку та її основних принципах [8].

При створенні програмного продукту нами буде застосований системно-ситуаційний підхід, який дозволить врахувати основні принципи системного підходу, а саме: кінцевої мети – абсолютний пріоритет глобальної мети; єдності – розгляд системи як цілого; зв'язності – врахування зв'язків та відносин; модульної побудови; ієрархії; функціональності; децентралізації; врахування станів невизначеності.

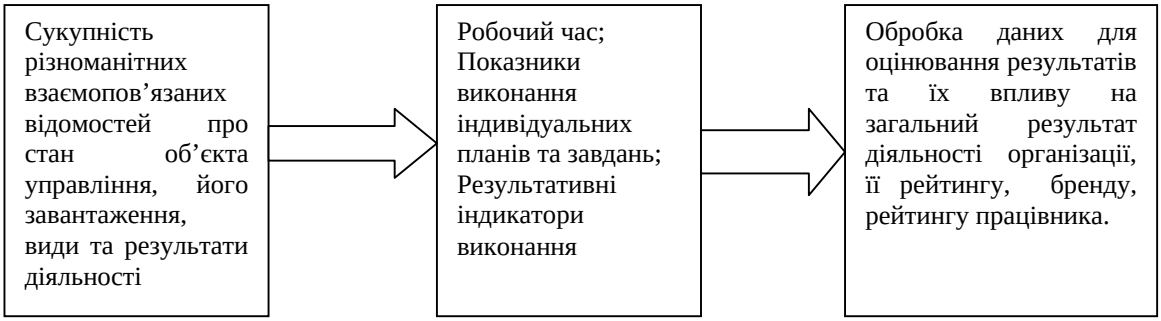


Рис. 1. Загальна модель інформаційної системи управлінського обліку та моніторингу завантаження працівників

Також необхідно виконати типізацію задач та їх стандартизацію, відповідність плановим завданням та функціям, що виконують працівники. Ситуаційний підхід передбачає врахування конкретних ситуацій при здійсненні визначених видів діяльності та виконання конкретних завдань [8].

Серед основних програмних продуктів, представлених на українському ринку, можна виокремити такі програми як «Парус – заробітна плата» та «1С: Зарплата і Управління Персоналом для України», «Нова бухгалтерія» з модулем «Зарплата», «Галактика: Управління персоналом» та інші. На жаль, готові програмні продукти характеризуються надлишковою універсальністю і відсутністю деяких функцій для врахування особливостей визначених організацій (зокрема навчальних закладів) [12, 13].

Аналогом створеної моделі є результати дослідження львівських науковців щодо створення моделі кадрового забезпечення кафедри. Але запропонована модель потребує свого цільового уточнення і розширення функціональних можливостей [9]. Використовуючи системний підхід до формування програмного продукту обліку та моніторингу завантаження працівників та оцінювання результатів їх діяльності, необхідно відповісти на основні питання доцільності автоматизації та сформувати загальні моделі взаємозв'язків системи моніторингу та оцінювання [10, 11, 14]. На рис. 2 представлено модель інформаційної системи управлінського обліку та моніторингу завантаження викладачів навчального закладу.

Розглянемо основні цільові моделі системи управлінського обліку та моніторингу для вищого навчального закладу на рівні кафедри, факультету, університету.

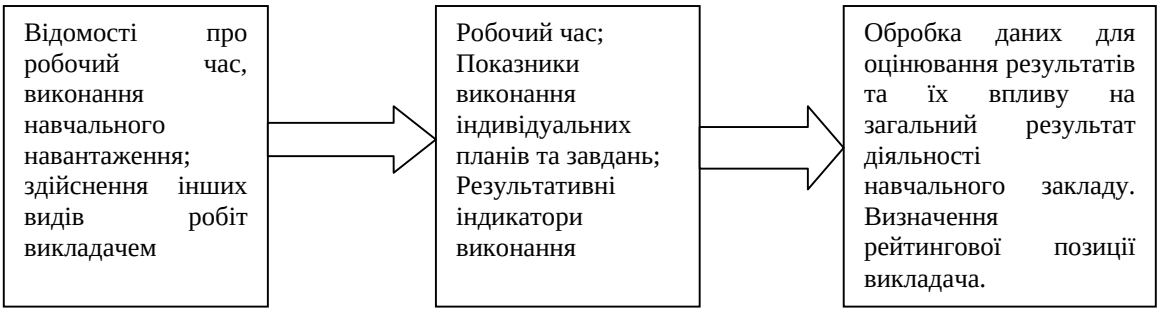


Рис. 2. Загальна модель інформаційної системи управлінського обліку та моніторингу завантаження викладачів навчального закладу

На рис. 3 представлено загальну цільову модель діяльності викладача. Діаграма побудована на основі методи Ісікави. Над кістяком риби представлені основні види діяльності викладача, виконання завдань яких заповнюють робочий час,а під кістяком риби представлені результати діяльності відносно кожного виду [15]. Наслідком роботи всіх викладачів ми вважаємо підвищення рейтингу вищого навчального закладу серед інших, розвиток його бренду, популярності, збільшення кількості студентів, замовлень на науково-дослідні роботи тощо.

Представлені результати діяльності можуть бути конкретизовані кожним адміністративним підрозділом вищого навчального закладу для формування рейтингу викладачів та реалізації функції мотивації їх діяльності.

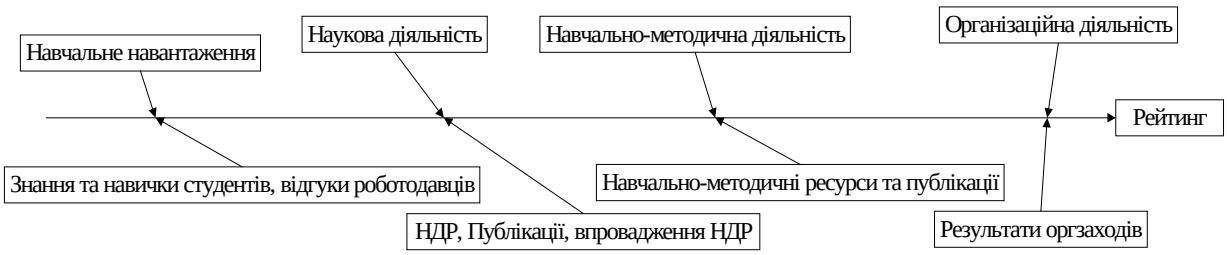


Рис. 3. Модель видів результатів діяльності викладача вищого навчального закладу

На рис. 4 представлено потоки даних обліку та моніторингу діяльності викладача.

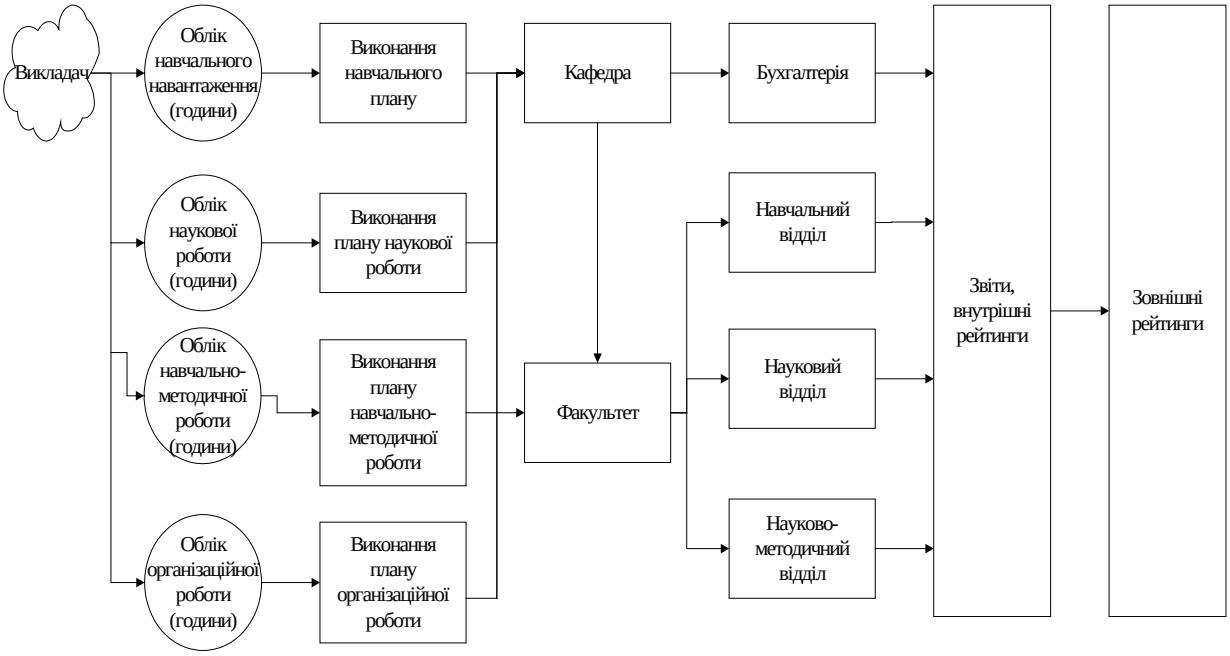


Рис. 4. Модель потоків даних програмного модулю обліку та моніторингу діяльності викладача

Серед зацікавлених сторін в створенні програмного продукту можна виокремити такі:

бухгалтерія (формальний облік робочого часу);

навчальний відділ (виконання навчальних планів та навчального навантаження);

науково-методичний відділ (облік забезпечення навчально-методичними ресурсами для якісного викладання та підтримки забезпечення якості знань студентів; організації методичних конкурсів, олімпіад,

конференцій);

науково-дослідна частина університету (облік результатів науково-дослідної діяльності; публікацій; організації наукових конкурсів, олімпіад, конференцій).

кафедра, факультет (відповідність результатів діяльності вимогам ліцензії та акредитації освітніх програм, планів роботи кафедри та факультету, індивідуальних планів викладачів). Таким чином, для створення програмного продукту обліку завантаження працівників необхідно визначити мету та подальше використання облікової інформації, особливості організації та подальше проектування і технічні аспекти реалізації програмного продукту.

Така модель дозволить сформувати необхідні первинні облікові документи, підготувати дані для подальшої обробки, оцінювання результатів діяльності, визначення рейтингів, рівня виконання планів, прогнозування подальшої діяльності викладачів та підрозділів університету.

Реалізація програмного продукту обліку та моніторингу роботи викладача може бути здійснена на мові програмування С++. На даний час реалізовано модуль табелю робочого часу. Аналогічно можуть бути реалізовані всі інші модулі, але для цього необхідно сформувати всі планові показники обліку, алгоритми обробки даних результатів діяльності.

Tabel – головний модуль, у якому зберігається інформація про облік робочого часу працівників. Початкові дані заносяться в таблицю при створені нового табеля, інші дані про відпрацьовані години працівників заносяться вручну. Ведеться автоматичний підрахунок кількості днів фактичної роботи, кількість годин урочної роботи, кількість днів відрядження, відпустки, тимчасової непрацездатності, та інших видів відсутності, дозволеними законодавством. Програма має можливості вивантаження даних в MS Excel з подальшим їх друком, запуск форми з умовними позначеннями для ознайомлення користувача з умовними позначеннями програми, збереження вже готового табеля в архіві даних. Програма має можливість пошуку працівника та друкування звіту (рис. 5).

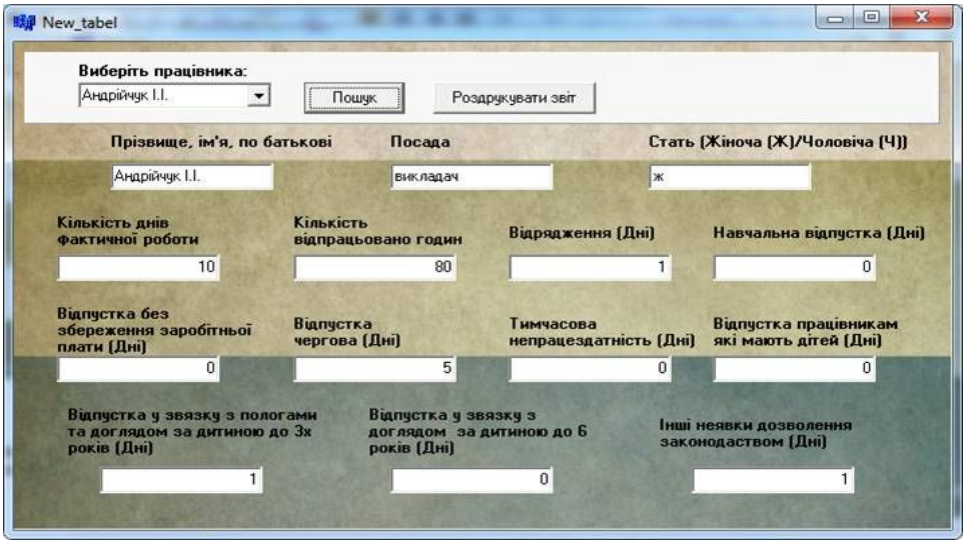


Рис. 5. Модуль пошуку даних працівника

Для повноцінної роботи програмного продукту, програма «Табель» повинна бути інстальована на комп'ютер користувача, а необхідні дані правильно розміщені на комп'ютері, враховуючи відмінності між комп'ютерами і налаштуваннями користувача. У процесі установки виконуються різні тести на відповідність заданим вимогам, а комп'ютер необхідним чином конфігурується (настроюється) для зберігання файлів і даних, необхідних для правильної роботи програми.

Висновки

Одержані моделі є основою для реалізації програмного продукту обліку та моніторингу завантаження працівників. Загальна модель віддзеркалення діяльності є основою для формування системи обліку та моніторингу будь-якої організації, акцентуючи увагу на функціях контролю та мотивації. В залежності від особливостей діяльності, модель може бути адаптована для окремих груп підприємств, установ, цільових груп працівників та проектів. Запропонована адаптована модель обліку та моніторингу для вищого навчального закладу буде сприяти підвищенню продуктивності роботи викладачів і може бути використана для внутрішнього управлінського обліку завантаження викладачів, визначення рейтингу за результатами діяльності.

Література

1. Красюк Т. В. Порядок встановлення та облік режиму робочого часу науково-педагогічних працівників ВНЗ / Т. В. Красюк // Порівняльно-аналітичне право. – 2014. – № 5. – С. 167–171.

2. Семко Л. Совершенствование оплаты труда на промышленных предприятиях / Л. Семко //

Підприємство, господарство і право. – 2003. – № 4. – С. 135–136.

3. Бобиль В. Удосконалення організації обліку преміювання та інших програм матеріального стимулювання в ПАТ «Дніпропетровський стрілочний завод» / В.В. Бобиль, А.С. Адамян // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна «Проблеми економіки транспорту». – 2012. – Вип. 4. – С. 90–94.

4. Островерха Р.Е. Організація обліку : навч. посіб. / Р.Е. Островерха. – К. : Центр учб. л-ри, 2012. – 568 с.

5. Потриваєва Н.В. Стан та перспектива обліку розрахунків з оплати праці: теоретичний аспект / Н.В. Потриваєва, І.В. Савченко // Економічний форум. – 2014. – № 1. – С. 93–98.

6. Каткова Н. Особливості обліку оплати праці в сучасних умовах та шляхи його вдосконалення / Н.В. Каткова, К.В. Маслова // Економіка та суспільство. – 2017. – Вип. 8. – С. 762–768.

7. Герасимчук Л.С. Шляхи вдосконалення обліку оплати праці / Л.С. Герасимчук, О.В. Кантаєва // Молодіжний науковий вісник УАБС НБУ, Серія: Економічні науки. – 2012. – № 12. – С. 186–194.

8. Бенько М.М. Інформаційні системи і технології в бухгалтерському обліку : монографія. – К. : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2010. – 336 с.

9. Нова бухгалтерія (комплекс бухгалтерських програм) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://proaudit.com.ua/prog/nova-buxgalteriya.phtml. – Назва з титул.екрану.

10. Автоматизовані системи управління. Управління персоналом (HRM) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://galaktika.ua/blog/upravlinnya-personalom-hrm.html?lang=uk. – Назва з титул. екрану.

11. Верес О.М. Концептуальна модель бази даних кадрового забезпечення кафедр університету [Електронний ресурс] / О.М. Верес, В.Л. Мельник, Л.Б. Чирун. – Режим доступу : //vlp.com.ua/. – Назва з титул. екрану.

12. Турчин С. Общие проблемы автоматизации управления предприятием / С. Турчин // Компьютерное обозрение. – 2000. – № 6. – С. 22–25.

13. Турчин С. Три основных вопроса автоматизации / С. Турчин // Компьютерное обозрение. – 2000. – № 8. – С. 25–27.

14. Коваленко О.О. Моделювання інформаційних потоків системи автоматизації управління вищим навчальним закладом / О. Коваленко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – № 5. – Т. 2. – С. 225–229.

15. Исикава К. Японские методы управления качеством / К. Исикава ; пер. с англ. ; под ред. А. В. Гличева. – М. : Экономика, 1988. – 214 с.

References

1. Krasyuk T. V. Poryadok vstanovlennya ta oblik rezhymu robochoho chasu naukovo-pedahohichnykh pratsivnykiv VNZ / T.V. Krasyuk // Porivnyalno-analitychne pravo. – 2014. – № 5. – S. 167–171.

2. Semko L. Sovershenstvovaniye oplaty truda na promyshlennykh predpriyatiyakh / L. Semko // Pídpriêmstvo, gospodarstvo í pravo. – 2003. – №

3. Bobyl V. Udoskonalennya orhanizatsiyi obliku premiyuvannya ta inshykh prohram materialnoho stymulyuvannya v PAT «Dnipropetrovskyy strilochnyy zavod» / V.V. Bobyl, A.S. Adamyan // Zbirnyk naukovykh prats Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana «Problemy ekonomiky transportu». – 2012. – vyp. 4., S. 90-94.

4. Ostroverkha R.E. Orhanizatsiya obliku: navch. posib. / R.E. Ostroverkha. – K. : Tsentr uchb. l-ry, 2012. – 568 s.

5. Potryvayeva N.V. Stan ta perspektyva obliku rozrakhunkiv z oplaty pratsi: teoretychnyy aspekt / N.V. Potryvayeva, I.V. Savchenko // Ekonomichnyy forum. – 2014. – №1. – S. 93-98.

6. Katkova N. Osoblyvosti obliku oplaty pratsi v suchasnykh umovakh ta shlyakhy yoho vdoskonalennya / N.V. Katkova, K.V. Maslova // Ekonomika ta suspilstvo. – 2017. – vyp.. №8. – S.762-768.

7. Herasymchuk L.S. Shlyakhy vdoskonalennya obliku oplaty pratsi / L.S. Herasymchuk, O.V. Kantayeva // Molodizhnyy naukovyy visnyk UABS NBU, Seriya: Ekonomichni nauky. – 2012. – №12. – S. 186-194.

8. Benʹko M.M. Informatsiyni systemy i tekhnolohiyi v bukhhalterskomu obliku: monohrafiya. – K. : Kyyiv. nats. torh.-ekon. un-t, 2010. – 336 s.

9. Nova bukhhalteriya (kompleks bukhhalterskykh prohram). – [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: http://proaudit.com.ua/prog/nova-buxgalteriya.phtml. – Nazva z tytul.ekranu.

10. Avtomatyzovani systemy upravlinnya. Upravlinnya personalom (HRM). – [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: http://galaktika.ua/blog/upravlinnya-personalom-hrm.html?lang=uk. – Nazva z tytul.ekranu.

11. Veres O.M. Kontseptualna model bazy danykh kadrovoho zabezpechennya kafedr universytetu [Elektronnyy resurs] / O.M. Veres, V.L. Melnyk, L.B. Chyrun. – Rezhym dostupu://vlp.com.ua/ . – Nazva z tytul.ekranu.

12. Turchin S. Obshchiye problemy avtomatizatsii upravleniya predpriyatiyem / S. Turchin // Kompʼyuternoye obozreniye. – 2000. – № 6. – S. 22–25.

13. Turchin S. Tri osnovnykh voprosa avtomatizatsii / S. Turchin // Kompʼyuternoye obozreniye. – 2000. – № 8. – S. 25–27.

14. Kovalenko O.O. Modelyuvannya informatsiynykh potokiv systemy avtomatyzatsiyi upravlinnya vyshchym navchalnym zakladom / O. Kovalenko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – 2011. – № 5. – T. 2. – S. 225-229

15. Isikava, K. Yaponskiye metody upravleniya kachestvom / K. Isikava; per. s angl.; pod red. A. V. Glicheva. – M.: Ekonomika, 1988. – 214 s.

Отримана/Received : 19.2.2018 р. Надрукована/Printed :26.3.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 004.4

Т.К. СКРИПНИК, С.С. ПЕТРОВСЬКИЙ, Є.Г. ОЛЕКСАНДРЕНКО
Хмельницький національний університет

ОБРАННЯ ЕФЕКТИВНИХ ЗАСОБІВ РОЗРОБКИ WEB-ЗАСТОСУВАНЬ ДЛЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЛІКУВАННЯ ЗАКЛАДАМИ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

Метою даної статті є обрання ефективних засобів розробки веб-застосунків для систем керування лікування закладами охорони здоров'я. На сьогодні в Україні відбувається перехід на електронну систему охорони здоров'я. Це є кроком вперед, оскільки тепер медпрацівникам буде набагато легше знаходити інформацію про пацієнта, слідкувати за його здоров'ям. Медичний заклад матиме більше точних даних для аналізу роботи закладу і внаслідок чого зможе краще оптимізувати роботу закладу. Дана стаття допоможе веб-розробникам обрати найефективніший та найсучасніший спосіб розробки веб-додатку, саме тому дана стаття є актуальною. Ми розглянули основні задачі які повинен виконувати веб-додаток з точки зору лікувального закладу для полегшення роботи лікарям, статистам та іншому медичному персоналу, а також надати доступ пацієнтам можливість слідкувати за процесом лікування. Проаналізовано найбільш популярні веб-сервери, що використовуються розробниками для побудови сайтів різного рівня складності. До них відносяться такі веб-сервери: Apache, IIS (Internet Information Server), Nginx. Порівняння відбувалось на основі можливостей веб-серверів, а також проаналізована популярність на ринку серед усіх сайтів. Проаналізувавши ми обрали веб-сервер, який найбільше підходить для створення веб-додатку. Розглянуто найбільш популярні мови програмування, їх доля на ринку: PHP, ASP.NET, Ruby, Python. Порівнявши дані мови програмування, дізналися їх переваги та недоліки і обрали найкращий для медичної інформаційної системи. В результаті ми прийдемо до висновку які веб-сервери, мови програмування найбільше підходять для створення медичної інформаційної системи. Ці дані зможуть допомогти розробникам визначити кращий шлях для створення програмного продукту.

Ключові слова: МІС, Apache, Nginx, IIS (Internet Information Server), ASP.NET, PHP, БД (база даних), веб-сайт.

T.K. SKRYPNYK, S.S. PETROVSKY, Y.H. OLEKSANDRENKO
Khmelnytskyi National University

CHOICE OF EFFECTIVE MEANS OF DEVELOPING WEB APPLICATIONS FOR THE CONTROL SYSTEMS OF HEALTH PROTECTION INSTITUTIONS

The purpose of this article is to select effective tools for developing web applications for the treatment of health care institutions. Today in Ukraine there is a transition to an electronic health care system. This is a step forward, because now it will be much easier for medical staff to find information about the patient and monitor his health. The medical institution will have more accurate data for analyzing the work of the institution and, as a result, will be able to better optimize the work of the institution. This article will help web developers choose the most effective and most advanced way to develop a web application. That is why this article is relevant. We have reviewed the main tasks that a web application needs to perform in terms of the medical facility to facilitate the work of doctors, statisticians and other medical personnel. And also give patients the opportunity to follow the treatment process. Analyzed the most popular web servers that are used by developers to build sites of different complexity. These include the following web servers: Apache, IIS (Internet Information Server), Nginx. The comparison is based on the capabilities of web servers, and also analyzed the popularity of the market among all sites. After analyzing, we chose the web server that is most suitable for creating a web application. The most popular programming languages are considered, their market share: PHP, ASP.NET, Ruby and Python. Having compared the programming language, learned about their advantages and disadvantages and chose the best for the medical information system. As a result, we come to the conclusion which web servers, programming languages are most suitable for creating a medical information system. This data can help developers determine the best way to create a software product.

Keywords: MIS, Apache, Nginx, IIS (Internet Information Server), ASP.NET, PHP, DB (database), website.

Постановка проблеми

На сьогодні Інтернет став практично невід'ємною частиною людства. Але є області, які є частково або повністю не охоплені. Серед них в Україні це охорона здоров'я. У розвинених країнах уже давно запроваджена електронна система охорони здоров'я. У нас тільки починається. На даний момент відбувається тестування нової системи eHealth. Вона складається з державного центрального компоненту та зовнішнього приватного компоненту. Центральний державний відповідає за централізоване зберігання та обробку інформації, а зовнішній компонент це медичні інформаційні системи (МІС), що приєднались до системи eHealth. Що таке МІС? Це інформаційно-телекомунікаційна система, яка є частиною електронної системи охорони здоров'я та забезпечує реєстрацію користувачів, автоматичне розміщення, отримання і передання інформації і документів щодо надання медичних послуг, користування сервісами з автоматичним обміном інформацією, доступ до якого здійснюється за допомогою мережі Інтернет через прикладний програмний інтерфейс (API) [1]. Система eHealth знаходиться в процесі тестування, налаштування, а МІС є приватними. Саме тому на даний момент є актуальним аналіз ефективних засобів розробки web-застосунків.

Аналіз досліджень та публікацій

Щоб обрати правильний шлях створення web-застосунків для систем керування лікування закладами охорони здоров'я нам потрібно визначити:

- які задачі повинен виконувати додаток;
- на якій платформі, web-сервері повинен будуватися програмний продукт;
- мова програмування на якій буде реалізовано сайт.

Задачі які повинен виконувати web-додаток:

1. Онлайн запис на візит до лікаря
1.1. Зручне представлення розкладу;
1.2. Наглядна візуалізація вільних годин;
1.3. Зручна форма запису із підтвердженням на електронну адресу пацієнта.
2. Можливості для лікаря
2.1. Отримання необхідних статистичних даних;
2.2. Формування оперативних звітів;
2.3. Створення та редагування облікових записів пацієнта;
2.4. Доступ до електронної медичної картки;
2.5. Перегляд результатів оглядів, аналіз та уточнення діагнозів клієнта;
2.6. Доступ до історії візитів пацієнта;
2.7. Перегляд та створення скерувань.
3. Обліковий запис пацієнта
3.1. Пошук потрібного пацієнта у базі за іменем та прізвищем;
3.2. Можливість створення нового пацієнта;
3.3. Запис пацієнта на візит або консультацію до відповідного спеціаліста.
4. Дані та документи
4.1. Перегляд і редагування інформації про пацієнта;
4.2. Доступ до результатів обстежень та аналізів;
4.3. Доступ до документів із можливістю їх збереження на своєму комп'ютері або мобільному пристрої.
5. Візити
5.1. Перелік минулих та запланованих візитів пацієнта;
5.2. Специфікація наданих під час кожного візиту послуг;
5.3. Історія платежів пацієнта.
6. Електронна медична картка
6.1. Підсумок результатів останніх оглядів та аналізів;
6.2. Перегляд медичних даних членів родини;
6.3. Інформація щодо чутливості до певних медикаментів та алергічних реакцій.

До задач, які повинен виконувати web-додаток слід додати також можливість об'єднання з Windows-додатками. Так як медичні працівники працюють в лабораторіях та з різним діагностичним обладнанням (УЗІ, рентген, томограф, ендоскоп, ЕКГ та інші) для більш ефективної праці слід об'єднати обладнання з web-додатком для швидкого створення звітів та інших документів і подальшим внесенням в картку пацієнта.

Серед відомих у світі web-серверів найпопулярнішими та найкращими є: Apache, Nginx, Internet Information Server (IIS) [2, 3]. На рис. 1 показано відсоток сайтів, що використовують сервер у порядку спадання на сьогодні. Як ми бачимо Apache посідає перше місце за використанням серед усіх існуючих сайтів, проте серед найпопулярніших сайтів починаючи з топ мільйону сервер Nginx виривається в лідери.

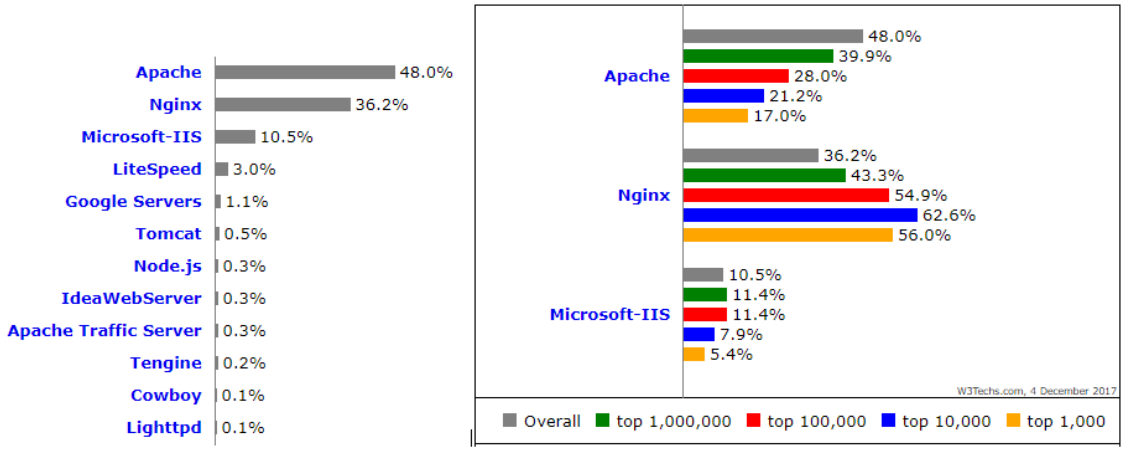


Рис. 1. Рейтинг популярності web-серверів

На netcraft.com, компанії, що збирає статистику веб-серверів та веб-хостингів містить дані про зміну кількості активних сайтів показано, що Nginx з появою у 2007 році впевнено збільшує свою аудиторію (рис. 2) [4]. Це означає, що в популярних, тобто часто відвідуваних сайтах розробники надають перевагу Nginx.

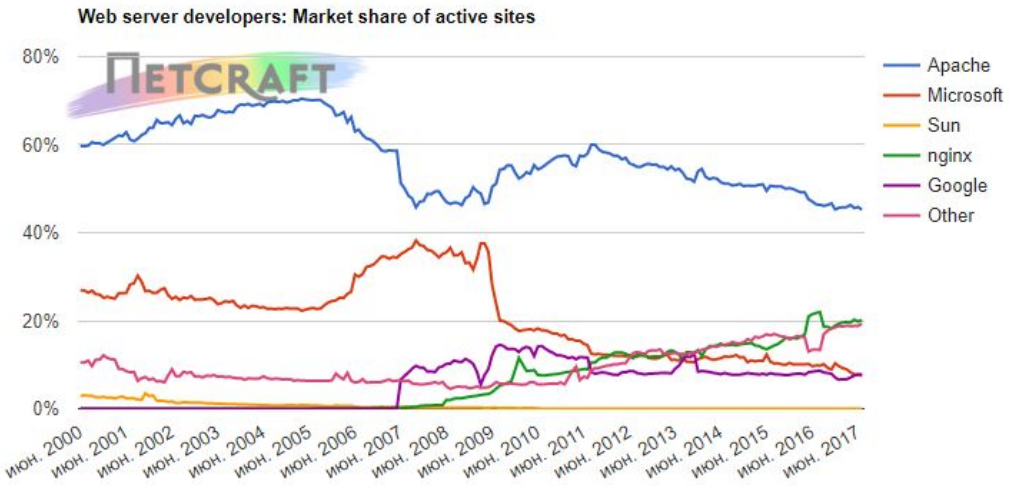


Рис. 2. Використання веб-серверів

Даний сервер на відміну від Apache використовує асинхронну систему вводу-виводу, що на практиці означає менше навантаження на систему і показує гарні результати при великих навантаженнях. Також має малий розмір, міжсистемність, простоту конфігурацій, масштабованість. Приблизно лише 30% веб-хостингів основані на Windows ОС, а відсутність мультиплатформності у IIS робить його менш пригідним для МІС. Також Windows має довшу обробку даних порівняно з Linux системою, що не підходить для медичної інформаційної системи.

На якій мові програмування писати код? Найбільш широко використовуваними серверними мовами програмування є: PHP, ASP.NET, Ruby, Python. З них перші дві мови займають понад 90%, тому ми і розглянемо їх. Інші мови програмування ми не розглядаємо, оскільки їх доля мала в мережі Інтернет, яка призведе до складності вивчення мови чи усунення несправностей і тому вони не є ефективними. Порівняємо дані мови програмування, взнаємо їх переваги та недоліки і виберемо ефективний для нашої системи.

Серед переваг PHP слід відзначити:

- Простота. При розробці складної системи це переважно перетворюється в недолік. Причиною є: відсутність строгої типізації і інших властивостей наявних у повноцінних мовах, в наслідок чого призводить до проблем в розвитку і підтримці складної системи;
- Великий вибір хостингів. При розробці сайту з «нуля» вартість хостингу встає на другий план в порівнянні з вартістю розробки;
- Безкоштовність, включаючи платформу. Якщо система повинна працювати на десятках, сотнях серверів, ви починаєте економити багато коштів, використовуючи безкоштовну операційну систему. Якщо сайту достатньо один сервер, тоді вартість ОС можна упустити. Це також відноситься і до віртуального хостингу.

Переваги ASP.NET:

- Повноцінна мова. Платформа .NET дозволяє писати на будь-якій .NET мові. До них входять: C#, J#, VB.NET, C++, Perl, Delphi, FORTRAN та ін. Також плюсом є використання базових бібліотек з зручним об’єктно-орієнтованим синтаксисом;
- ASP.NET компілюється, PHP інтерпретується. Це означає, що швидкість виконання коду буде більше за PHP і суттєво спрощено відлагодження коду;
- Повна підтримка юнікоду. Всі web-сайти побудовані на ASP.NET за замовчуванням підтримують UTF-8 на відмінну від сайтів побудованих на PHP;
- Компіляція програм. На відмінну від PHP, в . NET код компілюється, внаслідок чого він виконується значно швидше;
- Великі можливості за допомогою стандартних бібліотек. В PHP велика кількість речей реалізуються сторонніми бібліотеками, що в свою чергу створює додаткові проблеми: необхідність вивчення та відсутність бібліотек на хостингу;
- Ідентичність середовища розробки та розгортання (реліз). Наприклад, якщо ви використовуєте ОС Windows, тоді при розробці на PHP ваше середовище розробки буде відрізнятися від серверної, оскільки на ній стоятиме Linux. При розробці на ASP.NET ви використовуєте однакове середовище як на сервері в Інтернеті так і на ПК;
- База даних (БД). Найбільш популярними, надійними, зручними є MS SQL та MySql. .NET розробники в більшості випадків використовують MS SQL, а PHP розробники MySql відповідно. Серед наведених БД MS SQL містить більшу кількість можливостей.

Висновки

Отже, в результаті нашого дослідження розглянули існуючі технології розробки WEB-застосувань та спираючись на його аналіз обрали наступні інструменти. Серед веб-серверів кращим варіантом є Nginx,

оскільки він підтримує велику кількість ОС. Основною перевагою над Apache є наявність асинхронної системи вводу-виводу. Перевагою над IIS – можливість розгортання на операційних системах Linux. З серверних мов програмування ефективнішим є ASP.NET. Як ми бачимо PHP більше підходить для малих проектів, де буде відносно менше навантаження. А ASP.NET краще справляється з великими веб-проектами, де потрібно опрацьовувати великі кількості даних, а також можливість працювати з Windows-додатками.

Література

1. Що таке МІС? [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://portal.ehealth-ukraine.org/clarifications/2017-09-15-mis/

2. Порівняння web-серверів: Apache, IIS, Nginx [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://w3techs.com/technologies/comparison/ws-apache,ws-microsoftiis,ws-nginx

3. Рейтинг web-серверів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://w3techs.com/technologies/overview/web_server/all

4. Використання веб-серверів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://news.netcraft.com/archives/2017/07/20/july-2017-web-server-survey.html

References

1. Shcho take MIS? URL: https://portal.ehealth-ukraine.org/ clarifications/2017-09-15-mis/

2. Porivnyannya veb-serveriv: Apache, IIS, Nginx. URL: https://w3techs.com/technologies/comparison/ws-apache,ws-microsoftiis,ws-nginx

3. Reitynh veb-serveriv. URL: https://w3techs.com/technologies /overview/web_server/all

4. Vykorystannia veb-serveriv. URL: https://news.netcraft.com/ archives/2017/07/20/july-2017-web-server-survey.html

Отримана/Received : 3.2.2018 р. Надрукована/Printed :26.3.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 623.396

О.В. БОРОВИК, Л.В. БОРОВИК, В.А. КРИСЬКОВ
Хмельницький національний університет

МЕТОД РОЗКРИТТЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ У ЗАДАЧАХ ПРОТИДІЇ ДВОХ СТОРІН ПРИ КОНФЛІКТІ СТРАТЕГІЙ

Метою даного дослідження є обґрунтування методу розкриття невизначеності у задачах протидії двох сторін при конфлікті стратегій, що визначаються функціями двох змінних за наявності специфічних додаткових умов і обмежень.

Ключові слова: невизначеність, протидія, стратегії, конфлікт, функція двох змінних, специфічні умови та обмеження.

O.V. BOROVYK, L.V. BOROVYK, V.A. KRYSKOV
Khmelnytsky National University

THE METHOD OF DISCLOSURE OF UNIQUENESS IN THE PROBLEMS OF CONTINGENCY OF TWO PARTIES AT STRATEGY CONFLICT

For a significant class of formal problems of system analysis, an important problem is the disclosure of uncertainties. Applied tasks that do not contain uncertainties are rather an exception than a rule. An adequate description of the problem usually contains various types of uncertainty, reflecting the natural state in which the researcher is located. The most common practice is the uncertainty of goals, situations, conflicts. One of the most important classes of problems of uncovering the problems is the problems in which cases of conflict between the strategies of subjects are investigated. Tasks of this class, for example, include tasks of choosing a rational strategy of competitors' actions in the common market, if there are no agreements between them and restrictions in behaviour. Study of the properties and features of conflict situations - one of the main tasks of such discipline, as the theory of games. In the framework of this theory, cases of counteraction to the parties whose strategies are determined by the payment matrix are sufficiently fully analysed. Cases of disclosure of uncertainty in counteracting two opponents related to the assessment of the degree and level of risk based on point and interval principle are also researched. However, for today, the question of determining the optimal (rational) compromise in the event of counteraction to the parties, the strategies of which are described functionally, in the presence of additional conditions and assumptions, have not yet been fully studied. The paper defines a class of problems of counteraction of two parties in the conflict of strategies determined by the functions of two variables in the presence of restrictions and additional conditions that provide an opportunity: to achieve a guaranteed result at the worst variants of the situation for the party; achieve the maximum possible result in the worst case scenario for the party; achievement of the best result for the party at the most probable variants of behaviour of the opposing party. On the basis of the analysis of existing methods of solving such problems, approaches to the solution of the investigated problem in all possible described cases of the implementation of specific conditions are proposed.

Keywords: uncertainty, counteraction, strategy, conflict, function of two variables, specific conditions and constraints.

Постановка проблеми у загальному вигляді.

Для значного класу формалізованих задач системного аналізу важливою проблемою є розкриття невизначеностей. Це зумовлено різноманітністю цілей, властивостей і особливостей об’єктів системного аналізу. Прикладні задачі, які не містять невизначеностей, є скоріше винятком, ніж правилом. Адекватний опис проблеми зазвичай містить різного типу невизначеності, що відображає той природний стан, у якому перебуває дослідник. Будь-яке його знання завжди є відносно неповним і неточним. Це безпосередньо випливає з теореми Геделя про неповноту [1] та еволюцію розвитку людського пізнання.

Найпоширенішими на практиці є невизначеності цілей, ситуацій, конфліктів. Суть цих невизначеностей наведена у роботах [2–6]. Одним із достатньо важливих класів задач розкриття невизначеностей є задачі, в яких досліджуються випадки протистояння стратегій суб’єктів. До задач цього класу, наприклад, належать задачі вибору раціональної стратегії дій конкурентів на спільному ринку, якщо немає договорів між ними та обмежень у поведінці. Основна відмінність задач протидії стратегій від інших задач взаємодії партнерів полягає в такому: сторони не лише не повідомляють одна одній які-небудь достовірні відомості про свої дії, але й свідомо дезінформують як щодо цілей, так і певних параметрів; ситуації, за яких розвиваються події, залежать не лише від зовнішніх умов, але й від стратегії дії сторін; дії сторін зумовлюють потребу зміни не тільки параметрів, але й цілей у процесі розвитку ситуацій; цілі сторін не тільки не збігаються, але зазвичай є протилежними і часто конфліктними.

На сьогодні ще не до кінця вивченими є питання розкриття невизначеності у задачах конфлікту стратегій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опираються автори

Вивчення властивостей та особливостей конфліктних ситуацій – одне з головних завдань такої дисципліни, як теорія ігор [4–6]. У межах цієї теорії достатньо повно проаналізовані випадки протидії сторін, стратегії яких визначаються платіжною матрицею.

Випадки розкриття невизначеності при протидії двох супротивників, що стосуються оцінювання ступеня і рівня ризику на базі точкового та інтервального принципу, досліджені у роботі [2].

Однак на сьогодні ще не до кінця повно вивчені питання визначення оптимального (раціонального) компромісу у випадку протидії сторін, стратегії яких описані функціонально за наявності додаткових умов і припущень.

Саме тому метою даної роботи є обґрунтування методу розкриття невизначеності у задачах протидії двох сторін при конфлікті стратегій, що визначаються функціями двох змінних за наявності специфічних додаткових умов і обмежень.

Для досягнення мети вбачається за доцільне:

чітко окреслити клас задач розкриття невизначеності, що досліджуватимуться у роботі;

обґрунтувати авторський можливий підхід щодо вирішення досліджуваних задач.

Отже, розглянемо задачу протидії двох сторін при конфлікті стратегій, що визначаються функціями двох змінних, у наступній постановці.

Задано дві сторони (суб'єкта), кожна з яких має свою цільову функцію:

$$\text{суб'єкт 1 - } f_1(x_1, x_2), \tag{1}$$

$$\text{суб'єкт 2 - } f_2(x_1, x_2). \tag{2}$$

Суб'єкти діють незалежно – жодний не знає ні цільової функції, ні параметрів протилежної сторони.

Областю визначення стратегій для суб'єктів 1, 2 є проміжки

$$x_1 \in [a;b],\ x_2 \in [c;d]. \tag{3}$$

Обмеження на цільові функції мають вигляд

$$f_1(x_1, x_2) \geq f_1^*, \tag{4}$$

$$f_2(x_1, x_2) \geq f_2^*. \tag{5}$$

У виразах (4)-(5) f_1^*, f_2^* – це умови, що визначають цілі сторін.

В якості умов розглядається можливість:

досягнення гарантованого результату при найгірших варіантах розвитку ситуації для сторони;

досягнення максимально можливого результату при найгірших варіантах розвитку ситуації для сторони;

досягнення найкращого результату для сторони при найбільш ймовірних варіантах поведінки протидіючої сторони.

Аналіз підходів щодо вирішення досліджуваних задач

Випадок 1. Розв'язати задачу (1)–(5) за умови, що f_1^*, f_2^* визначають можливість досягнення гарантованого результату при найгірших варіантах розвитку ситуації для сторони.

У цьому випадку кожний суб'єкт прагне забезпечити собі певні гарантовані результати за найкращих умов, створюваних активною протидією конкурента або супротивника. Для досягнення гарантованого результату кожен суб'єкт виходить із наступних умов: супротивник вибрав для себе такі параметри дії, які завдають протидіючій стороні найбільших збитків; з огляду на першу умову супротивник вибирає такі параметри власної діяльності, щоб при найгіршій ситуації мати максимально можливі для себе значення цільової функції.

У такому разі гарантований результат f_1^* для першого суб'єкта виражатиме таке співвідношення

$$f_1^* = \max_{x_1} \min_{x_2} f_1(x_1, x_2), \tag{6}$$

а для другого суб'єкта –

$$f_2^* = \max_{x_2} \min_{x_1} f_2(x_1, x_2). \tag{7}$$

Якщо умова (6) виконується за $x_1 = x_1^*$, а умова (7) - якщо $x_2 = x_2^*$, то

$$x_1^* = \arg\max_{x_1} \min_{x_2} f_1(x_1, x_2), \tag{8}$$

$$x_2^* = \arg\max_{x_2} \min_{x_1} f_2(x_1, x_2). \tag{9}$$

За такого вибору $x_1 = x_1^*$ для першого суб'єкта гарантовано, що за будь-якого значення x_2 виконується умова

$$f_1(x_1, x_2) \geq f_1^*. \tag{10}$$

Аналогічно для другого суб'єкта гарантовано, що за $x_2 = x_2^*$ і будь-якого значення x_1 виконується умова

$$f_2(x_1, x_2) \geq f_2^*. \tag{11}$$

З інструментальної точки зору у цьому випадку f_1^*, f_2^* можна знаходити різними способами, наприклад, табличним методом, класичним методом, який базується на дослідженні екстремальних

властивостей функцій, графічним методом. Особливості застосування цих методів при розв'язуванні відповідних задач можна оцінити з роботи [2].

Далі знаходиться множина Парето D, як перетин областей, що визначаються обмеженнями (4), (5). Оптимальні ж значення $\bar{x}_1^*$ і $\bar{x}_2^*$, які визначають розв'язок задачі (1)-(5), знаходяться з умови

$$\max_{i=1,2} | f_i(x_1, x_2) - f_i^* | \to \min \tag{12}$$

в області Парето D, тобто $\forall (x_1, x_2) : (x_1, x_2) \in D$.

<u>Випадок 2.</u> Розв'язати задачу (1)-(5) за умови, що f_1^*, f_2^* визначають можливість досягнення максимально можливого результату при найгірших варіантах розвитку ситуації для сторони.

У такому разі результат f_1^* для першого суб'єкта виражатиме співвідношення

$$f_1^* = \max_{x_1} \max_{x_2} f_1(x_1, x_2), \tag{13}$$

а для другого суб'єкта –

$$f_2^* = \max_{x_2} \max_{x_1} f_2(x_1, x_2). \tag{14}$$

Якщо умова (13) виконується за $x_1 = x_1^*$, а умова (14), якщо $x_2 = x_2^*$, то

$$x_1^* = \arg\max_{x_1} \max_{x_2} f_1(x_1, x_2), \tag{15}$$

$$x_2^* = \arg\max_{x_2} \max_{x_1} f_2(x_1, x_2). \tag{16}$$

З інструментальної точки зору f_1^*, f_2^* у цьому випадку можна знаходити також різними способами.

Однак, з точки зору спрощення процедури розв'язування задачі та автоматизації процесу найбільш доцільним видається метод, який базується на дослідженні екстремальних властивостей функцій.

Для цього, насамперед на основі застосування теорії диференціального числення функції багатьох змінних [7] знаходиться точка $M^*\left(x_1^*; x_2^*\right)$, в якій функція $f_1(x_1, x_2)$ досягає максимуму. Далі формується функція однієї змінної $f_1(x_1, x_2^*)$. Застосування теорії диференціального числення функції однієї змінної [7] дозволяє знайти точку максимуму $\bar{x}_1$ функції однієї змінної $f_1(x_1, x_2^*)$. На основі цього визначається f_1^*, як

$$f_1^* = f_1(\bar{x}_1, x_2^*). \tag{17}$$

Аналогічно здійснюється пошук величини f_2^*.

Знаходиться точка $N^*\left(x_1^*; x_2^*\right)$, в якій функція $f_2(x_1, x_2)$ досягає максимуму. Далі формується функція однієї змінної $f_2(x_1^*, x_2)$. Знаходиться точка максимуму $\bar{x}_2$ функції однієї змінної $f_2(x_1^*, x_2)$. На основі цього визначається f_2^*, як

$$f_2^* = f_2(x_1^*, \bar{x}_2). \tag{18}$$

Далі знаходиться множина Парето D, як і у випадку 1.

Оптимальні ж значення $\bar{x}_1^*$ і $\bar{x}_2^*$, які визначають розв'язок задачі (1)–(5), знаходяться з умови

$$\max_{i=1,2} | f_i(x_1, x_2) - f_i^* | \to \max \tag{19}$$

в області Парето D, тобто $\forall (x_1, x_2) : (x_1, x_2) \in D$.

<u>Випадок 3.</u> Розв'язати задачу (1)-(5) за умови, що f_1^*, f_2^* визначають можливість досягнення найкращого результату для сторони при найбільш ймовірних варіантах поведінки протидіючої сторони.

У такому разі результат f_1^* для першого суб'єкта виражатиме співвідношення [8]

$$f_1^* = \frac{1}{S} \iint_D f_1(x, y) dS, \tag{20}$$

де D - область, у якій досліджується функція $f_1(x, y)$ (у досліджуваній задачі – це прямокутник, що визначається обмеженнями (3), а S - це площа області D (у досліджуваній задачі $S = (b - a) \cdot (d - c)$).

Результат f_2^* для другого суб'єкта виражатиме співвідношення

$$f_2^* = \frac{1}{S}\iint\limits_D f_2(x,y)dS\,. \qquad (21)$$

У (21) D і S мають ті ж позначення і значення, що і в (20).

Отже, у цьому випадку

$$x_1^* = \arg f_1^*\,, \qquad (22)$$

$$x_2^* = \arg f_2^*\,. \qquad (23)$$

Далі знаходиться множина Парето D, як і у випадках 1, 2.

Оптимальні ж значення $\bar{x}_1^*$ і $\bar{x}_2^*$, які визначають розв'язок задачі (1)-(5), можуть бути знайдені з такої x умови (19), як і у випадку 2.

Розглянемо приклад розв'язування досліджуваної задачі у випадку 1.

Цільові функції сторін наступні:

суб'єкт 1 - $f_1(x_1,x_2) = -x_1^2 + 2x_1 + x_2^2 - 4x_2 + 8\,,$ (24)

суб'єкт 2 - $f_2(x_1,x_2) = x_1^2 - 6x_1 - x_2^2 + 2x_2 + 2\,.$ (25)

Суб'єкти діють незалежно – жодний не знає ні цільової функції, ні параметрів протилежної сторони.

Областю визначення стратегій для суб'єктів 1, 2 є проміжки $x_1 \in [0;4]$, $x_2 \in [0;4]$.

Обмеження на цільові функції мають вигляд (4), (5).

Знайти оптимальний розв'язок задачі .у постановці випадку 1.

Для розв'язання задачі насамперед необхідно знайти значення f_1^*, f_2^*.

Результати відшукання цих значень за табличним методом можна оцінити з (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Знаходження гарантованого результату f_1^*

$x_1 \in [0;4]$	**0**					**1**					**2**					**3**					**4**				
$x_2 \in [0;4]$	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
$f_1(x_1,x_2)$	8	5	<u>4</u>	5	8	9	6	<u>5</u>	6	9	8	5	<u>4</u>	5	8	5	2	<u>1</u>	2	5	0	-3	<u>-4</u>	-3	0

З (табл. 1) видно, що $f_1^* = \max\limits_{x_1}\min\limits_{x_2} f_1(x_1,x_2) = f_1^*(1;2) = 5$.

Таблиця 2

Знаходження гарантованого результату f_2^*

$x_2 \in [0;4]$	**0**					**1**					**2**					**3**					**4**				
$x_1 \in [0;4]$	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
$f_2(x_1,x_2)$	2	-3	-6	<u>-7</u>	-6	3	-2	-5	<u>-6</u>	-5	2	-3	-6	<u>-7</u>	-6	-1	-6	-9	<u>-10</u>	-9	-6	-11	-14	<u>-15</u>	-14

З (табл. 2) видно, що $f_2^* = \max\limits_{x_2}\min\limits_{x_1} f_2(x_1,x_2) = f_2^*(3;1) = -6$.

Результати відшукання значень f_1^*, f_2^* за класичним методом наведені нижче.

$$\frac{\partial f_1}{\partial x_2} = 2x_2 - 4 = 0\,. \qquad (26)$$

З останнього рівняння випливає, що мінімуму функція досягає при $x_2 = 2$.

Потрібно відшукати значення x_1, за якого функція досягатиме максимуму. Для цього в $f_1(x_1,x_2)$ підставимо одержане значення $x_2 = 2$ і розв'яжемо наступне рівняння:

$$\frac{\partial f_1(x_1,2)}{\partial x_1} = -2x_1 + 2 = 0\,.$$

Звідси маємо $x_1 = 1$. У точці $x_1 = 1$ досягається максимум. Отже,

$$\max_{x_1}\min_{x_2} f_1(x_1,x_2) = f_1^*(1;2) = 5\,.$$

Такі самі дії виконуються для другого суб'єкта, тобто для функції $f_2(x_1, x_2)$.

$$\frac{\partial f_2}{\partial x_2} = 2x_1 - 6 = 0 .$$

Одержимо мінімум у точці $x_1 = 3$.

$$\frac{\partial f_2(3, x_2)}{\partial x_1} = -2x_2 + 2 = 0 ,$$

звідки випливає, що в точці $x_2 = 1$ функція досягає максимуму. Отже,

$$f_2^* = \max_{x_2} \min_{x_1} f_2(x_1, x_2) = f_2^*(3;1) = -6 \cdot$$

Отриманий результат співпав з отриманим за табличним методом.

Скористаємось тепер для знаходження f_1^*, f_2^* графічним методом.

Щоб знайти f_1^*, фіксуючи послідовність значень x_1, будуються графіки функції $f_1(x_1, x_2)$ за x_2 (рис. 1). З цього рис. видно, що максимальний мінімум досягається при $x_2 = 2$ і $x_1 = 1$, а $f_1^* = 5$.

Для відшукання f_2^* аналогічно, фіксуючи послідовність значень x_2, будуються графіки функції $f_2(x_1, x_2)$ за x_1 (рис. 1). Як видно з рисунка, максимальний мінімум досягається при $x_1 = 3$ і $x_2 = 1$, а $f_2^* = -6$ отже, $f_1^* = 5$ і $f_2^* = -6$./

Множину Парето знаходимо, виходячи з обмежень $f_1^*(x) \geq 5$; $f_2^*(x) \geq -6$. Систему нерівностей (4)-(5) у розглядуваному прикладі розв'язати нескладно. Графічна інтерпретація їх розв'язку наведена на (рис. 2)

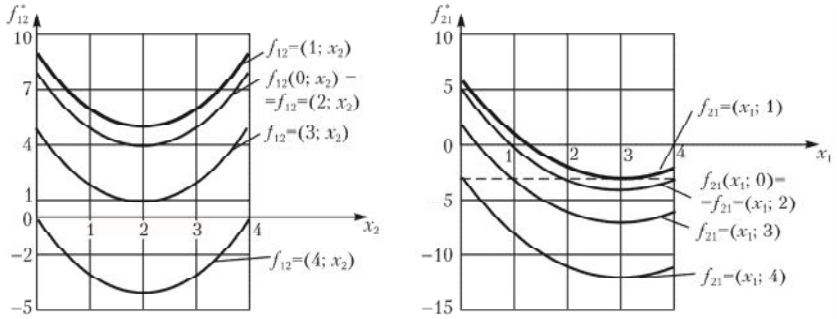


Рис. 1. Знаходження f_1^* та f_2^* графічним методом

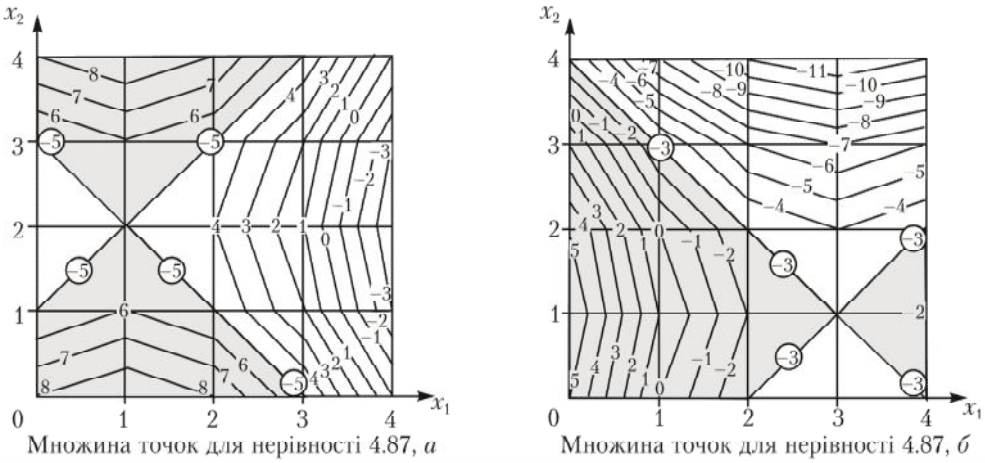


Рис. 2. Розв'язання системи нерівностей (4)-(5) графічним методом

Множину Парето у вигляді перетину цих областей, де лежать раціональні розв'язки для протидіючих суб'єктів, зображено на рис. 3. Тут же показано оптимальні значення $\bar{x}_1^*$ і $\bar{x}_2^*$, за яких виконується умова (12).

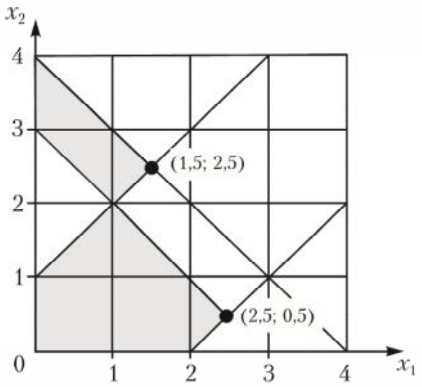


Рис. 3. Визначення множини Парето графічним методом

Висновки

Таким чином, за результатами проведеного дослідження у роботі визначено клас задач протидії двох сторін при конфлікті стратегій, що визначаються функціями двох змінних за наявності обмежень і додаткових умов, що забезпечують можливість: досягнення гарантованого результату при найгірших варіантах розвитку ситуації для сторони; досягнення максимально можливого результату при найгірших варіантах розвитку ситуації для сторони; досягнення найкращого результату для сторони при найбільш ймовірних варіантах поведінки протидіючої сторони. На основі аналізу існючих методів розв'язування подібних задач запропоновано підходи до вирішення досліджуваної задачі у всіх можливих описаних випадках реалізації специфічних умов.

Перспективою для подальших досліджень авторів є автоматизація описаних у роботі процедур.

Література

1. Нагель Э. Теорема Геделя / Є. Нагель, Дж. Р. Ньюман – Москва : Знание, 1970. – 63 с.

2. Згуровський М. З. Основи системного аналізу : підручик для вищих навчальних закладів / М.З. Згуровський, Н.Д. Панкратова – Київ : Видавнича група BHV, 2007. – 544 с.

3. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. / Моисеев Н. Н. – Москва : Наука, 1981. – 488 с.

4. Вентцель Е. С. Исследование операций : задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель – Москва : Советское радио, 1972. – 552 с.

5. Боровик О.В. Дослідження операцій в економіці: навчальний посібник. / Боровик О.В., Боровик Л.В. – Київ : Центр учбової літератури, 2007. – 424 с.

6. Боровик О. В. Дослідження операцій в оперативно-службовій діяльності органів охорони державного кордону : підручник / Боровик О. В., Боровик Л. В. – Хмельницький : Видавництво Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького, 2009. – 444 с.

7. Боровик О.В. Вища математика: Диференціальне числення функції однієї і багатьох змінних. Частина 2 : навчальний посібник / Боровик О.В., Боровик Л.В., Матохнюк Л.О. – Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2016. – 640 с.

8. Боровик О.В. Вища математика: Інтегральне числення. Частина 3 : навчальний посібник / Боровик О.В., Гащук І.В., Трасковецька Л.М. – Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2016. – 630 с.

References

1. Nagel E. Teorema gedelya / E. Nagel, Dzh. R. Nyuman – Moskva; Znanie, 1970. – 63 s.

2. Zgurovs'kij M. Z. Osnovi sistemnogo analizu : pidruchik dlya vishhix navchal'nix zakladiv / M.Z. Zgurovs'kij, N.D. Pankratova – Kiïv: Vidavnicha grupa BHV, 2007. – 544 s.

3. Moiseev N. N. Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza. / Moiseev N. N. – Moskva.: Nauka, 1981. – 488 s.

4. Ventcel' E. S. Issledovanie operacij : zadachi, principy', metodologiya / E. S. Ventcel' – Moskva: Sovetskoe radio, 1972. – 552 s.

5. Borovik O.V. Doslidzhennya operacij v ekonomici: Navchal'nij posibnik / Borovik O.V., Borovik L.V. – Kiïv: Centr uchbovoï literaturi, 2007. – 424 s.

6. Borovik O. V. Doslidzhennya operacij v operativno-sluzhbovij diyal'nosti organiv oxoroni derzhavnogo kordonu: pidruchnik / Borovik O. V., Borovik L. V. – Xmel'nic'kij: Vidavnictvo Nacional'noï akademiï Derzhavnoï prikordonnoï sluzhbi Ukraïni imeni B. Xmel'nic'kogo, 2009. – 444 s.

7. Borovik O.V. Vishha matematika: Diferencial'ne chislennya funkciï odnieï i bagat'ox zminnix. Chastina 2: navchal'nij posibnik / Borovik O.V., Borovik L.V., Matoxnyuk L.O. – Xmel'nic'kij: Vidavnictvo NADPSU, 2016. – 640 s.

8. Borovik O.V. Vishha matematika: Integral'ne chislennya. Chastina 3: navchal'nij posibnik / Borovik O.V., Gashhuk I.V., Traskovec'ka L.M. – Xmel'nic'kij: Vidavnictvo NADPSU, 2016. – 630 s.

Отримана/Received : 27.2.2018 р. Надрукована/Printed :26.3.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. О.В. Поморова

УДК 004.93’12

К.М. ЯЛОВА, К.В. ЯШИНА, М.В. ТКАЧЕНКО
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам’янське

РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ЗГОРТКОВОЮ НЕЙРОННОЮ МЕРЕЖЕЮ

В роботі представлено результати побудови згорткової нейронної мережі, що використовується для розпізнавання образів на прикладі рукописних цифр. Навчання запропонованої нейронної мережі відбувалося на базі локалізованих рукописних цифр із бази даних Mixed National Institute of Standards and Technology. Алгоритм навчання представленої згорткової нейронної мережі побудований на основі методу зворотного розповсюдження помилки. В роботі наведено результати тестування розробленої згорткової нейронної мережі в рамках створеного програмного застосунку. Адекватність розробленої мережі доведено за рахунок співставлення результатів розпізнавання подібних нейронних мереж.

Ключові слова: розпізнавання образів, згорткова нейронна мережа, алгоритм навчання нейронної мережі.

K. YALOVA, K. YASHYNA, M. TKACHENKO
Dnipro State Technical University

PATTERNS RECOGNITION WITH THE CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

The main aim of the article is to provide results of the convolutional neural network design. It allows building complex hierarchies of features and performs patterns recognition based on them. In the article the results of the developed convolutional neural network using for patterns recognition on an example of handwritten digits are provided. The architecture of the created convolutional neural network is consist of seven layers, namely: input layer, two convolutional layers, two max polling layers, fully connected layer and output ones. The learning of the proposed neural network was based on localized handwritten digits from the Mixed National Institute of Standards and Technology database. The learning algorithm of presented convolutional neural network is based on the backpropagation method. Authors have developed the special software application for the purpose of testing and evaluation the adequacy of described convolutional neural network. For the purpose of receiving the highest level of the digits recognition authors have provided the convolutional neural network parametrization with such parameters as: learning rate, polling size, epochs amount and momentum. The results of the convolutional neural network testing are performed. During convolutional neural network testing authors have obtained 96,83% handwritten digits recognition. The offered convolutional neural network shows the high level of handwritten digits recognition adequacy. The adequacy of the developed convolutional neural network is provided by comparison of patterns recognition results of similar neural networks created by other authors. The analysis of images which recognition errors is approximately equal to 100% showed that patterns of such handwritten digits are quite difficult for identification even to the human being that can characterize the received result as highly accurate. The prospect for the further authors’ research is the reduction of the recognition error level due to complication of convolutional neural network architecture, optimization of the learning algorithm, determination of effective network setup parameters, application of input images distortion.

Keywords: pattern recognition, convolutional neural network, learning algorithm of the neural network.

Вступ

Загальна постановка задачі розпізнавання образів полягає в наступному: виділити елементи, що належать конкретному класу, серед множини розмитих елементів, які відносяться до декількох класів. Узагальнений алгоритм процесу розпізнавання образів складається зі здійснення двох дій: навчання та розпізнавання. Навчання реалізується шляхом показу окремих об’єктів із вказуванням їх приналежності тому або іншому образу. В результаті навчання система розпізнавання повинна набути здатність однаково реагувати на всі об’єкти одного образу і по-різному – на всі об’єкти образів, що різняться. Після навчання система може відносити вхідний образ до одного з образів її бази. На сьогодні існують декілька принципово різних методів розпізнавання образів: структурні, признакові та шаблонні методи, кожен з яких має свої недоліки та переваги [1]. Точність систем автоматичного розпізнавання образів, що застосовують для розпізнавання ці методи, стрімко падає в умовах ускладненого подання або спотворення вхідних зображень, наприклад при зміні кута подання зображення і його масштабу або, додаючи додаткові об’єкти складного фону. Для розв’язку такого роду завдань ефективно використовуються нейронні мережі (НМ), які показують стійкість до спотворення вхідного зображення, високу швидкість та точність розпізнавання, а задачі розпізнавання образів стала найпоширенішою галуззю застосування різних видів НМ.

НМ – це послідовність нейронів, що пов’язані між собою синапсами [2]. Структура комп’ютерної нейронної мережі прийшла до світу програмування з біології. Завдяки реалізованій логіки нейрону, машина набуває здатність аналізувати і навіть запам’ятовувати різну інформацію. НМ здатні не тільки аналізувати вхідну інформацію, а й відтворювати її зі своєї пам’яті. Існує багато типів НМ, кожен з яких пристосований до вирішення конкретних проблем.

Постановка проблеми

Для розпізнавання образів найчастіше використовують НМ прямого розповсюдження зі зворотнім розповсюдженням помилки. Але використання таких НМ має великий недолік, НМ не завжди стійка до спотворення вхідних даних. Окрім того вхідне зображення не можливо опрацювати класичною НМ без попередніх перетворень, наприклад таких як розкладання зображення на вектор, при цьому втрачається значна частина інформації, оскільки порушується топологія вихідних даних. Ще одним недоліком застосування класичної НМ при розв’язанні задачі розпізнавання образів є високі розрахункові потреби у ресурсах. Велика кількість параметрів класичної НМ вимагає наявності великої вибірки навчання, що ускладнює обчислювальну складність процесу та потребує значних витрат часу. Найрозповсюдженішим варіантом вирішення такої проблеми є використання згорткових нейронних мереж (ЗНМ).

Метою даної статті є представлення результатів проектування ЗНМ та її застосування для вирішення задачі розпізнавання образів на прикладі рукописних цифр. В якості задач дослідження автори

визначили наступне:

- аналіз предметної області та досягнень у сфері розробки ЗГМ із метою проектування ефективної архітектури ЗНМ та визначення складу її вхідного шару, шарів згортки, повнозв'язних шарів та шару втрат;
- обґрунтування та вибір функції активації ЗНМ і алгоритму її навчання;
- визначення вихідної бази еталонних зображень рукописних цифр на основі бази даних Mixed National Institute of Standards and Technology (MNIST) для навчання та тестування ЗНМ;
- налаштування параметрів ЗНМ: швидкості навчання, розміру підвибірки, моменту та кількості епох навчання;
- створення програмного додатку для навчання та тестування розробленої ЗНМ;
- оцінка отриманих результатів та обґрунтування адекватності роботи розробленої ЗНМ у порівнянні з результатами розпізнавання подібними нейронними мережами, що були розроблені іншими авторами.

Аналіз досліджень

Дослідження та розробки в сфері НМ призвели до створення величезної кількості модифікацій ЗНМ, які використовують різні розміри чи форму вікна, спотворення вхідних даних, зсув, віддзеркалення, повороти на деякий кут тощо. Реалізація різних видів ЗНМ дає різні результати розпізнавання, хоча необхідно зауважити, що зменшення похибки розпізнавання призводить до суттєвого збільшення часу навчання НМ та впливає на складність її побудови. ЗНМ використовують у різних задачах розпізнавання образів, таких як: розпізнавання цифр автомобільних номерів, розпізнавання рукописних та машинописних цифр та букв, ідентифікація облич людей на фотокартках та відео тощо. Автори даної роботи дослідили результати науковців щодо застосування ЗНМ для розпізнавання локалізованих рукописних цифр.

Автори роботи [3] Солдатова О.П. та Гаршин А.А. представили результати розпізнавання рукописних цифр засобами ЗНМ, де розробляли просту ЗНМ та ЗНМ із спотворенням вхідних даних. Отримана точність розпізнавання тестової підвибірки з 10000 цифр склала 97% для простої ЗНМ та 98% для ЗНМ із спотворенням даних.

У роботах автора Кузміцького Н.Н. (наприклад [4]) представлено результати розробки та тестування програмного забезпечення, що дозволяє навчати і тестувати ЗГМ базової архітектури LeNet-5. Показана ефективність методики донавчання і спотворення тренувальних образів, побудовано класифікатор зображень ізольованих цифр. Зроблено оцінку стійкості його характеристик на прикладах відомих рукописних і шрифтових баз даних. В ході тестування мережі були отримані наступні показники точності розпізнавання: HSF_4 – 99,13%, OPTDIGTS – 96,22%, WIN_FONT – 94,15%.

У роботі [5] авторів Д.В. Федотової, Е.А. Попової та В.А. Охорзіна розглядається задача оптимізації НЗМ за допомогою еволюційного алгоритму, що сам конфігурується. Автори статті домоглися точності розпізнавання 65,01%.

У роботах автора Друкі А.А. (наприклад [6]) описано підхід до застосування ЗНМ для виділення і розпізнавання автомобільних номерних знаків на зображеннях зі складним фоном. На основі представлених алгоритмів розроблена програмна система забезпечує ймовірність розпізнавання автомобільних номерних знаків на зображеннях зі складним фоном не менше 97%.

У роботі [7] авторів Ізотова П.Ю., Сухна С.В., Головашкіна Д.Л. описано технологію реалізації нейромережевого алгоритму в середовищі Cuba на прикладі розпізнавання рукописних цифр. В роботі показано, що якість НМ, навченої на GPU, обмежена 1,6% помилок розпізнавання тестового набору зразків, в той час як мережа, навчена на CPU, робить близько 1,3% помилок.

Незважаючи на глибину проведених досліджень та різноманітність наукових праць, задача оптимізації архітектури ЗНМ та алгоритмів її навчання з метою зменшення похибки розпізнавання залишається актуальною.

Результати

ЗНМ – це спеціальна архітектура штучних НМ, основною ідеєю якої є чергування згорткових шарів (convolution layers) та шарів підвибірки (pooling layers) [8]. Кожний шар ЗНМ є площиною, складеною з нейронів, які мають однакові синаптичні коефіцієнти, що ведуть до попереднього шару. У кінці ЗНМ розташовують повнозв'язні шари (fully connected layers), які є звичайною НМ. ЗНМ розташовуються не в ряд, а у вигляді матриці (рис. 1).

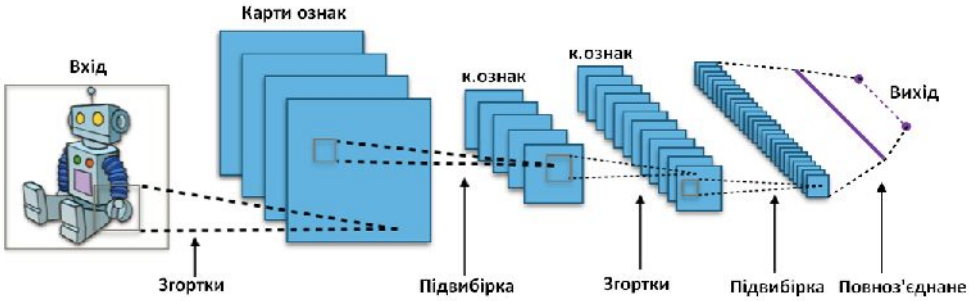


Рис. 1. Узагальнена структура ЗНМ

Матриця нейрону проходиться по всьому зображенню і формує мапу ознак. За рахунок того, що ця матриця дає один вихід – мережа згортається. Операція згортки – це математична операція, яка відображає схожість однієї функції на зсунуту копію іншої. На шарах згортки здійснюється операції згортки вхідної карти ознак заданим ядром згортки, яке визначає вагові коефіцієнти нейрону. Ядро *K* відображається по горизонталі та вертикалі і має ще назву «вікна» шару. Ядро згортки переміщується по вхідному зображенню *x* та формує відповідні значення вихідної карти ознак *c*. Елементи зображення розраховуються за наступною формулою:

$$c_{i,j} = \sum_{p,q} c_{i+p,j+q} c_{r-p,r-q}, \; p,q = 0,1,...r-1,$$

де r – розмір ядра згортки.

Після того, як матриця пройшла по всьому зображенню, кожен вихід проходить через функцію активації. Шар підвибірки найчастіше в мережі стоїть одразу за шаром згортки. Він обробляє мапи ознак, отримані від згорткового шару. На відмінну від шару згортки, він не обробляє данні в глибину, кожен нейрон такого шару з'єднаний з однією мапою ознак. Нейрон шару підвибірки зазвичай не має функції активації, він проходить по отриманій карті ознак ядром, та вибирає максимальне значення з даного ядра, всі інші значення ігноруються. Завдяки цьому процесу в мережі обираються найсильніші ознаки, а вхідне зображення зменшується. На відміну від шарів згортки шари підвибірки мають регульований параметр – фактор субдискретизації, який визначає у скільки разів буде зменшено зображення [9]. Після всіх шарів згортки та підвибірки у ЗНМ розташовується повнозв'язний шар, який розгортає отримані данні у єдиний вектор та має вигляд звичайної НМ.

На ефективність роботи ЗНМ суттєво впливає її структура, яка повинна підбиратися під конкретну поставлену задачу [10]. Проаналізувавши особливості побудови ЗНМ, авторами була розроблена ЗНМ, що складається із 7 шарів наступної структури:

1. Вхідний шар, який застосовується для подачі вхідного зображення до мережі розміром 28x28 пікселів.
2. Наступним за вхідним шаром розташовується перший прихований шар, який є шаром згортки з матрицею ядра 5x5 нейронів, у цьому шарі 8 ядер.
3. Другий прихований шар є шаром підвибірки (maxpooling) та має синаптичну маску розміром 2x2 нейрону із фактором субдискретизації 2.
4. Третій прихований шар – це шар згортки, який має матрицю ядра 5x5 нейронів. У цьому шарі 16 ядер.
5. Четвертий прихований шар – шар підвибірки із синаптичною маскою розміром 3x3 нейронів та фактором субдискретизації 3.
6. П'ятий прихований шар – це повнозв'язний шар, який складається з 10 простих нейронів. Призначення цього шару полягає в забезпеченні класифікації після скорочення розміру входу.
7. Шостий шар – це вихідний шар. У даній роботі автори реалізували вихідний шар у вигляді softmax шару, який перетворює отримані дані в числа в інтервалі [0,1]. Цей шар дає відповідь у відсотках, розпізнала мережа вхідне зображення чи ні.

Розмір площини, що згортається визначається за наступною формулою:

$$w_c = w_u - K + 1, \quad h_c = h_u - K + 1,$$

де w_c, h_c, – ширина та висота згорткової площини відповідно;

w_u, h_u, – ширина та висота попереднього шару;

K – розмір ядра сканування.

В якості функції активації була обрана функція-випрямляч ReLU (RectifiedLinearUnit), формула якої:

$$f(x) = \max(0, x).$$

Дана функція реалізує простий пороговий перехід у нулю [9]. Функція ReLUбула обрана в якості функції активації тому, що вона має наступні переваги перед функціями активації гіперболічного тангенсу та сигмоїди, а саме:

1. Обчислення сигмоїди вимагає виконання ресурсомістких операцій, таких як уведення до ступеню, в той час як ReLU може бути реалізована за допомогою простого порогового перетворення матриці активації в нулі. Крім того, ReLU не схильна до насичення.
2. Застосування ReLU істотно підвищує швидкість збіжності стохастичного градієнтного спуску (в деяких випадках до 6 разів) в порівнянні з сигмоїдою і гіперболічним тангенсом. Вважається, що це обумовлено лінійним характером і відсутністю насичення даної функції.

Однак ReLU не завжди достатньо надійна і в процесі навчання нейрони можуть виходити з ладу. Великий градієнт, що проходить через ReLU, може привести до такого оновлення ваг, що нейрон ніколи більше не активується. Якщо це станеться, то, починаючи з даного моменту, градієнт, що проходить через цей нейрон, завжди буде дорівнювати нулю. Відповідно, даний нейрон буде не зворотно виведений з ладу. Ця проблема вирішувалася за допомогою налаштування швидкості навчання, оскільки саме цей параметр впливає на збільшення неактивованих нейронів.

Для навчання розробленої ЗНМ застосовувався метод зворотного розповсюдження помилки. Алгоритм якого полягає в отриманні виходу після проходження зображення через мережу, порівняння його з мітками та пошуку помилки у зворотному напрямку через усі шари та для кожного нейрону [11, 12].

Навчання розробленої ЗНМ проходило на базі локалізованих рукописних цифр бази даних MNIST– об'ємної бази даних зразків рукописного написання цифр, що була розроблена для калібрування і зіставлення методів розпізнавання зображень за допомогою машинного навчання. MNIST містить 60000 зображень для навчання і 10000 зображень для тестування НМ.

Окрім розробки структури ЗНМ, обрання функції активації та методу навчання автори здійснили параметризацію системи розпізнавання рукописних цифр. Для оцінки роботи розробленої ЗНМ та проведення аналізу отриманих результатів був розроблений програмний застосунок із візуальним графічним інтерфейсом, через екранну форму якого можна здійснювати налаштування параметрів системи, переглядати графік ходу навчання систем, задавати вхідні зображення за індексом бази MNIST, зберігати результати розпізнавання. До параметрів систем, що піддавалися налаштуванню відносяться: швидкість навчання, розмір підвибірки розпізнавання, параметр моменту та кількості епох. Тестування навченої ЗНМ відбувалося на тестовій множині з 10000 зображень.

У цілому навчання у 200 епох на даній конструкції ЗНМ займало приблизно 20 хвилин, а повний тест після навчання мережі – приблизно 40 хвилин. Точність розпізнавання цифр оцінювалась для тренувальної та тестової вибірки MNIST. Після проведення тестування ЗНМ із різними значеннями перелічених параметрів були здійснені наступні висновки щодо отриманих результатів:

- параметр швидкості навчання повинен мати невелике значення, оскільки збільшення значення швидкості навчання негативно впливає на якість розпізнавання, тому що виникають випадки, коли ЗНМ перестрибує правильний результат. Це в свою чергу призводить до підвищення часу навчання та може призводити до так званого перенавчання ЗНМ;
- розмір підвибірки задавався більший, ніж кількість виходів. Збільшення розміру підвибірки збільшує час навчання для кожної епохи. Вплив збільшення розміру підвибірки на час навчання системи показано на графіку (рис. 2), де представленні результати тестування ЗНМ із підвибірками розміром 20, 40 і 60 зображень відповідно.

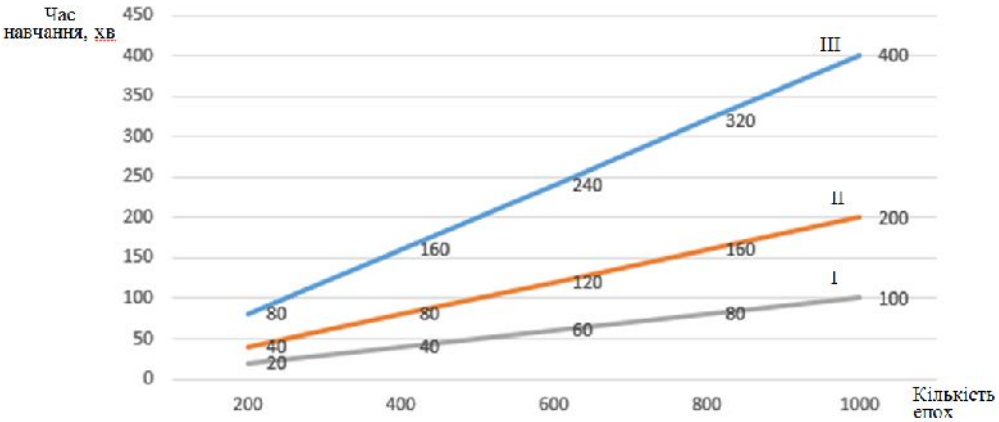


Рис. 2. Отримані залежності часу навчання ЗНМ від розміру підвибірки:
I – підвибірка 20 зображень; II – підвибірка 40 зображень; III – підвибірка 60 зображень

Так, для підвибірки розміром 20 зображень час навчання системи для 1000 епох склав 1 годину та 40 хвилин, у той час, як навчання системи з тими ж налаштуваннями для підвибірки в 60 зображень тривало 6 годин та 40 хвилин за співмірної якості розпізнавання.

Оцінивши співвідношення якості розпізнавання до заданого розміру підвибірки та часу, необхідного для навчання ЗНМ, автори дійшли висновку, що підвибірка розміром 20 зображень дає обґрунтовано кращий результат у співвідношенні якість результату – час навчання ЗНМ;

- параметр моменту відповідає за те, щоб ЗНМ при навчанні намагалась знайти не локальний мінімум, а глобальний. Обрання малого значення моменту призводить до ситуації, коли пошук помилки потрапляє до локального мінімуму і більше не виходить з нього. Встановлення моменту значно більшого за 1 призводить до перестрибування глобального мінімуму і негативно впливає на час навчання ЗНМ. Параметр моменту обирають близький до одиниці. В даній роботі автори обрали значення моменту 0,9;
- параметр кількості епох навчання суттєво впливає на швидкість навчання ЗНМ та на якість розпізнавання. Тестування ЗНМ були проведені з кількістю епох 200, 400, 600, 800 та 1000. На рис. 3 представлені результати тестів навченої ЗНМ у вигляді залежності кількості розпізнаних образів та значення похибки розпізнавання від кількості епох навчання у відсотковому співвідношенні.

Подальше збільшення кількості епох не впливало суттєво на якість розпізнавання, але значно збільшувало час навчання ЗНМ. Отримана якість розпізнавання на рівні 96,83% – це найкращій результат, що отримали автори на розробленій ЗНМ із обраним методом навчання та функцією активації ReLu. Тобто розроблена ЗНМ не розпізнала 317 зображень із бази серед 10000 поданих вхідних зображень.

З метою проведення аналізу результатів розпізнавання навченої ЗНМ було створено журнал транзакцій. Після кожної ітерації розпізнавання вхідного зображення до журналу додавався запис, що складався з полів: індекс вхідного зображення, відповідь розпізнавання, позначка правильності операції. Вибірка даних за найчастіше нерозпізнаними цифрами (похибка розпізнавання близька до 100%) показала, які саме зразки рукописних цифр із MNIST не вдалося розпізнати розробленій ЗНМ, приклади деяких

зразків найчастіше нерозпізнаних цифр показані на рис. 4.

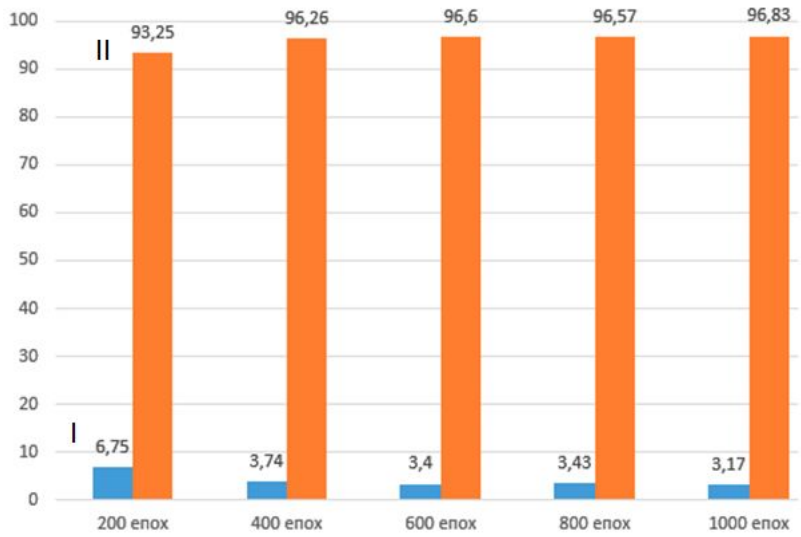


Рис. 3. Графік результатів розпізнавання:
I – не розпізнано вхідних зображень, II – розпізнано вхідних зображення

а) б) в)

Рис. 4. Приклади найчастіше нерозпізнаних цифр:
а) нерозпізнана цифра 7, б) нерозпізнана цифра 5, в) нерозпізнана цифра 8

З наведених на рисунку 4 зображень видно, що навіть людині розпізнавання таких цифр може завдати труднощів, тому результати розпізнавання ЗНМ можна вважати високо результативними. Окрім того, отримані результати тестування ЗНМ були порівняні з результатами розпізнавання подібних ЗНМ, розроблених іншими авторами, які здійснювали навчання ЗНМ та її тестування на тих же вибірках бази MNIST. На рис. 5 представлено порівняння отриманої похибки розпізнавання розробленої ЗНМ із мережами авторів робіт [3–5].

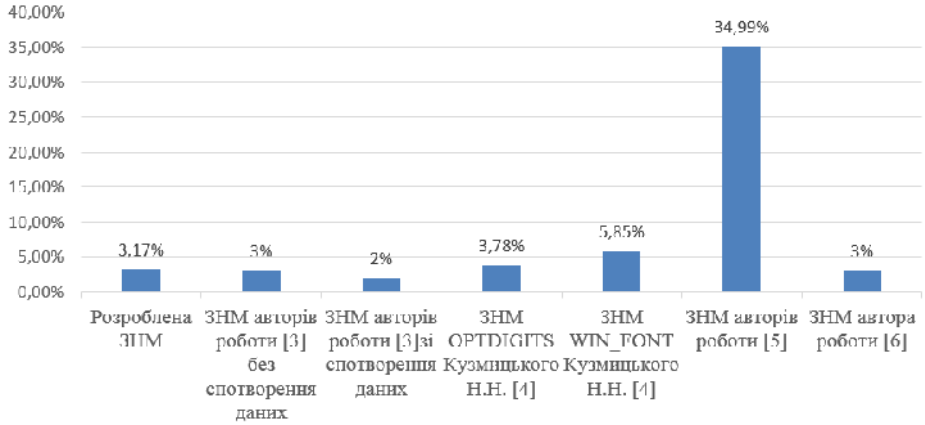


Рис. 5. Порівняння отриманих даних із результатами розпізнавання іншими ЗНМ

Отриманий результат є адекватно співмірний із похибками розпізнавання ЗНМ, структура яких описана в роботах [3–7]. Необхідно зауважити, що отримані результати розпізнавання можуть бути покращенні за рахунок:

- ускладнення структури шарів мережі та збільшення кількості нейронів;
- збільшення кількості епох навчання системи;
- оптимізації алгоритму навчання системи;
- налаштування параметрів навчання та тестування ЗНМ.

Висновки

З метою дослідження ефективності застосування ЗНМ для розпізнавання образів на прикладі рукописних цифр було розроблено спеціалізований програмний застосунок, робота якого дала змогу налаштовувати параметри ЗНМ, здійснити її навчання і тестування та проаналізувати отримані дані. В роботі представлено результати навчання та тестування розробленої ЗНМ, що складається з 7 шарів: вхідного, двох шарів згортки, двох шарів підвибірки, одного повнозв'язного та вихідного шару. В якості алгоритму навчання запропоновано застосовувати метод зворотного розповсюдження помилки, а функція

активація була представлена функцією ReLu. Навчання та тестування розробленої ЗНМ проводилися на основі бази даних рукописних цифр MNIST. Проведення серій тестувань навченої ЗНМ дали змогу визначити оптимальні параметри системи, що забезпечують високу точність розпізнавання. В результаті налаштування параметрів ЗНМ вдалося досягти 96,83-відсоткового розпізнавання вхідних зображень. Помилка розпізнавання 3,17% є співмірною до результатів, показаних іншими ЗНМ, що застосовують для навчання та тестування базу даних MNIST. Аналіз зображень, помилка розпізнавання яких близька до 100%, показав, що самі зразки рукописних цифр доволі складні для розпізнавання навіть людині, що може характеризувати досягнуті результати як високоточні. В той же час автори роботи ставлять перед собою задачі для подальших досліджень з метою зменшення помилки розпізнавання, які полягають в оптимізації алгоритму навчання, ускладненні структури ЗНМ та вибір ефективних параметрів її налаштування, застосування спотворення вхідних зображень.

Література

1. Михалевич Ю.С. Использование сверточных нейронных сетей для распознавания автомобильных номеров. Преимущества и недостатки по сравнению с шаблонным методом / Ю.С. Михалевич // Научный журнал КубГАУ. – 2016. – № 120(06). – С. 3–13.
2. Simard, P.Y. Best Practices for Convolutional Neural Networks Applied to Visual Document Analysis / P.Y. Simard, D. Steinkraus, J. Platt // International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), IEEE Computer Society. – Los Alamitos. – 2003. – P. 958–962.
3. Солдатова О.П. Применение сверточной нейронной сети для распознавания рукописных цифр / О.П. Солдатова, А.А. Гаршин // Компьютерная оптика. – 2010. – Т. 34. – № 2. – С. 252–259.
4. Кузьмицкий Н.Н. Сверточная нейросетевая модель в задаче классификации изображений изолированных цифр / Н.Н. Кузьмицкий // Доклады БгУИР. – 2012. – № 7(69). – С. 65–71.
5. Федотов Д.В. Оптимизация структуры сверточной нейронной сети с помощью самоконфигурируемого эволюционного алгоритма в одной задаче идентификации / Д.В. Федотов, Е.А. Попов, В.А. Охорзин // ВестникСибГАУ. – 2015. – Т. 16. – № 4. – С. 857–862.
6. Друки А.А. Применение сверточных нейронных сетей для выделения и распознавания автомобильных номерных знаков на изображениях со сложным фоном / А.А. Друки // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 5. – С. 85–92.
7. Изотов П.Ю. Технология реализации нейросетевого алгоритма в среде CUBA на примере распознавания рукописных цифр / П.Ю. Изотов, С.В. Суханов, Д.Л. Головашкин // Компьютерная оптика. – 2010. – Т. 34. – № 2. – С. 252–259.
8. Нейронная сеть [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://robocraft.ru/blog/algorithm/558.html.
9. Штучні нейронні мережі [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.victoria.lviv.ua/ html/oio/html/theme5.htm.
10. Tariq R. Make our own neural network. – Kindle Edition, 2016. – 370 p.
11. Алгоритм обучения многослойной нейронной сети методом обратного распространения ошибки (Backpropagation) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://habrahabr.ru/post/198268/.
12. Duffner S. An Online Backpropagation Algorithm with Validation Error-Based Adaptive Learning Rate / S. Duffner, C. Garcia // ICANN 2007, Part I, LNCS 4668, 2007. – P. 249–258.

References

1. Mihalevich Yu.S. Ispolzovanie svertochnyih neyronnyih setey dlya raspoznavaniya avtomobilnyih nomerov. Preimuschestva i nedostatki po sravneniyu s shablonnyim metodom / Yu.S. Mihalevich // Nauchnyiy zhurnal KubGAU: – 2016. – № 120(06) – C.3-13.
2. Simard, P.Y. Best Practices for Convolutional Neural Networks Applied to Visual Document Analysis / P.Y. Simard, D. Steinkraus, J. Platt // International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), IEEE Computer Society. – Los Alamitos. – 2003. – P. 958-962.
3. Soldatova O.P. Primenenie svertochnoy neyronnoy seti dlya raspoznavaniya rukopisnyih tsifr / O.P. Soldatova, A.A. Garshin // Kompyuternaya optika. – 2010. – T.34. – №2. – S. 252-259.
4. Kuzmitskiy N.N. Svertochnaya neyrosetevaya model v zadache klassifikatsii izobrazheniy izolirovannyih tsifr / N.N. Kuzmitskiy // Dokladyi BgUIR. – 2012. – №7(69). – S. 65-71.
5. Fedotov D.V. Optimizatsiya strukturyi svertochnoy neyronnoy seti s pomoschyu samokonfiguriruemogo evolyutsionnogo algoritma v odnoy zadache identifikatsii / D.V. Fedotov, E.A. Popov, V.A. Ohorzin // Vestnik SibGAU. – 2015. – T. 16. – №4. – S. 857-862.
6. Druki A.A. Primenenie svertochnyih neyronnyih setey dlya vyideleniya i raspoznavaniya avtomobilnyih nomernyih znakov na izobrazheniyah so slozhnyim fonom / A.A. Druki // Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. – 2014. – T. 324. – 5. – S. 85-92.
7. Izotov P.Yu. Tehnologiya realizatsii neyrosetevogo algoritma v srede CUBA na primere raspoznavaniya rukopisnyih tsifr / P.Yu. Izotov, S.V. Suhanov, D.L. Golovashkin // Kompyuternaya optika. – 2010. – T. 34. – 2. – S. 252-259.
8. Neyronnaya set [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: http://robocraft.ru/blog/algorithm/558.html.
9. Shtuchny neyronny merezhi [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: http://www.victoria.lviv.ua/ html/oio/html/theme5.htm.
10. R. Tariq. Make our own neural network. – Kindle Edition, 2016. – 370p.
11. Algoritm obucheniya mnogosloynoy neyronnoy seti metodom obratnogo rasprostraneniya oshibki (Backpropagation) [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: https://habrahabr.ru/post/198268/.
12. Duffner, S. An Online Backpropagation Algorithm with Validation Error-Based Adaptive Learning Rate / S. Duffner, C. Garcia // ICANN 2007, Part I, LNCS 4668, 2007. – P. 249-258.

Отримана/Received : 9.2.2018 р. Надрукована/Printed :26.3.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. С.Є. Самохвалов

УДК 004.94:616.127

С.В. ЯКУБОВСКАЯ
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Д.Х. ШТОФЕЛЬ, И.А. КРИВОРУЧКО
Винницкий национальный технический университет
Т.А. ЧЕРНЫШОВА
Медицинский центр Национального авиационного университета, г. Киев

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИСХОДА ИНФАРКТА МИОКАРДА

В статье рассмотрен вопрос построения информационной технологии прогнозирования протекания и результата заболевания инфарктом миокарда передней и задней локализации. Использование технологии на основе ранее разработанных математических моделей определения вероятности развития постинфарктного синдрома и прогнозирования рецидивирующего инфаркта миокарда дает врачу дополнительную диагностическую информацию и позволяет принимать оптимальные медицинские решения.

Ключевые слова: информационная технология; инфаркт миокарда; медицинская информационная система; модель; система поддержки принятия решения.

S.V. YAKUBOVSKAYA
Kharkov National University of Radio Electronics
D.H. SHTOFEL, I.A. KRIVORUCHKO
Vinnitsa National Technical University
T.A. CHERNYSHOVA
Medical Center of the National Aviation University, Kiev

INFORMATION TECHNOLOGY FOR PREDICTING THE OUTPUT OF MYOCARDIAL INFARCTION

The article deals with the construction of information technology for predicting the course and outcome of myocardial infarction of anterior and posterior localization. The use of technology on the basis of previously developed mathematical models for determining the probability of developing a postinfarction syndrome and predicting recurrent myocardial infarction provides the physician with additional diagnostic information and allows making optimal medical decisions. One of the problems of cardiology is the timely detection of disorders and latent processes in determining the survival rate of patients with myocardial infarction. Despite the improvements in the technical equipment of medical institutions in Ukraine, there is no reduction in the lethal cases from myocardial infarction. In modern medicine, the main sources of data for diagnosis and prognosis are the results of clinical and instrumental and clinical laboratory tests, the number of which can reach up to a hundred. Despite the constantly evolving information environment, the existing tools and established principles of medical care do not allow to effectively assess the status of patients with MI without involving new information models for determining the outcome of this disease, new methods for determining the development of postinfarction complications. The model for predicting the outcome of MI includes six important processes: "Collecting information", "Processing information about the patient and his disease," "Determining the outcome of myocardial and posterior localization," "Determining the likelihood of developing a post-infarction syndrome," "Predicting relapsing myocardial infarction, "Forming a diagnostic report".

Keywords: *information technology; myocardial infarction; medical information system; model; decision support system.*

Постановка проблемы. По данным Всемирной организации здравоохранения сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются ведущей причиной смерти в мире, ежегодно унося 17,3 миллиона человеческих жизней. Ведущее место среди них занимают ишемическая болезнь сердца (ИБС) и инфаркт миокарда (ИМ). При этом в Украине в структуре смертности от болезней системы кровообращения (БСК) лица трудоспособного возраста составляют: от ИБС – 7,4%, острого ИМ – 18,7%, инсультов – 17,4% [1, 2].

Одной из проблем современной кардиологии является своевременное выявление нарушений и скрытых процессов при определении выживаемости пациентов с инфарктом миокарда. Не смотря на улучшения технического оснащения медицинских учреждений Украины, снижение летальных случаев от инфаркта миокарда не наблюдается [3]. В современной медицине для диагностики и прогнозирования основными источниками данных выступают результаты клинико-инструментальных и клинико-лабораторных обследований, количество которых может доходить до ста.

Для автоматизации поддержки принятия решений врачом при прогнозировании исхода заболевания у пациента с инфарктом миокарда необходимо использовать специальные технические средства и вычислительные алгоритмы. Одной из целей прогноза в медицине является обоснование и обеспечение адекватных лечебных мероприятий, направленных на сохранение жизни больного и предотвращения угрожающих ему осложнений [4]. Существующие модели, методы и средства не позволяют определить вероятность развития постинфарктного синдрома, прогнозировать рецидив заболевания с учетом набора критериальных признаков оценки состояния пациента с целью профилактики возникновения новых очагов некроза миокарда [5].

Кроме использования стандартных медицинских методов прогнозирования, одним из способов повышения эффективности профилактики развития осложнений от перенесенного инфаркта миокарда, а также предотвращения летального исхода, является своевременное использование квалифицированным медицинским персоналом современных моделей, методов и средств прогнозирования [6]. Применение таких средств в острый период развития инфаркта миокарда и его последствий позволит своевременно применять

лечебно-профилактические мероприятия, сократить время от появления первых признаков заболевания и постановки правильного диагноза до начала лечения, а также прогнозировать дальнейшее развитие болезни.

Анализ литературы. Прогностическое значение сердечной недостаточности, осложняющей острый инфаркт миокарда, рассмотрено в [7] на обширном шведском материале. В [8] обозначена актуальность прогнозирования развития ИМ, в т. ч. среди пациентов молодого возраста, отмечено увеличение вероятности неблагоприятного исхода в связи с табакокурением. В [9] рассмотрено влияние заболеваний легких на течение ИМ и статистически подтверждено их совместное влияние на неблагоприятный исход. В [10] отмечено, что прогноз течения острого инфаркта миокарда зависит от особенностей клинических проявлений заболевания, возрастных и гендерных характеристик больного, корректности и оперативности диагностики и лечения заболевания. При прогнозировании общей смертности и случаев сердечной недостаточности у пациентов с острым инфарктом миокарда было обнаружено значительное прогностическое значение глобальной продольной деформации левого желудочка, которая составляет более 14% [11]. В [12] показано, что пациенты с ССЗ имели значительно более широкий инфаркт, меньший объем миокарда, больший объем микрососудистой обструкции и более выраженную дисфункцию левого желудочка. Авторы разработали многомерную модель, которая включает клинические и другие прогностические параметры, однако микрососудистая обструкция оставалась единственным значимым предиктором в дополнение к оценке риска тромболиза в ИМ, при чем размер инфаркта и микрососудистая обструкция обеспечивали повышенную прогностическую ценность модели. Проблема прогнозирования исхода инфаркта миокарда рассматривалась для больных сахарным диабетом 2 типа [13], где было показано, что риск смерти таких пациентов повышается в связи с низким функциональным резервом интактного миокарда на фоне адекватно неконтролируемой гипергликемии, артериальной гипертензии, ИБС, диабетической кардиомиопатии, а также почечной дисфункции. В [14] определено, что для мужчин с ИМ наиболее значимыми факторами риска являются курение, нарушения липидного обмена, избыточная масса тела и абдоминальный тип ожирения, а для мужчин пожилого возраста добавляются артериальная гипертензия, гиподинамия, отягощенная наследственность по ИБС и нарушения углеводного обмена с развитием инсулинорезистентности. Для женщин с ИМ наиболее значимыми факторами риска оказались нарушения углеводного обмена (в основном СД 2 типа), артериальная гипертензия, ожирение с развитием его абдоминального типа и нарушения липидного обмена. [15]. Известно, что современная стратегия профилактики ССЗ основана на определении суммарного (общего) риска развития ССЗ и их осложнений [16]. Принципы построения современной медицинской информационной системы и ее общая структура обозначены в [17]. Ранее был обоснован метод прогнозирования исхода инфаркта миокарда [18, 19] и запатентован способ прогнозирования летального исхода ИМ левого желудочка [20]. На их основании разработана соответствующая автоматизированная система прогнозирования [21, 22]. Следующим этапом внедрения полученных результатов является разработка комплексной технологии прогнозирования состояния больных с ССЗ и ИМ.

Цель статьи – разработать информационную технологию прогнозирования протекания сердечно-сосудистых заболеваний и прогнозирования состояния больных с инфарктом миокарда, которая могла бы применяться в системах поддержки принятия решений врачом, а также при оснащении автоматизированных рабочих мест врачей-кардиологов.

Разработка информационной технологии оценивания состояния пациентов с инфарктом миокарда. Несмотря на постоянно развивающуюся информационную среду, имеющийся инструментарий и сложившиеся принципы оказания медицинской помощи не позволяют эффективно осуществлять оценку состояния пациентов с ИМ без привлечения новых информационных моделей определения исхода данного заболевания, новых методов определения развития постинфарктных осложнений.

Ранее были разработаны математические модели определения результата инфаркта миокарда передней и задней локализации с использованием метода дискриминантных функций с учетом биохимических, клинических и коагулографических показателей крови, показателей свертывающей и противодействия свертывания крови человека [18–20]. На основании этих моделей и методов и разрабатывалась информационная технология определения исхода инфаркта миокарда, которая состоит из 6 укрупненных этапов:

Этап 1. Прогнозирование результата ИМ начинается со сбора информации о состоянии пациента, его анамнез жизни и анамнез заболевания, также результаты его клинико-лабораторных и клинико-инструментальных исследований.

Этап 2. Информация о пациенте и его заболевания представляется в структурированном, закодированном виде для дальнейшего формирования данных, необходимых для прогнозирования, в зависимости от локализации инфаркта миокарда.

Этап 3. Прогнозирование результата ИМ проводится по формулам (1) или (2). Множество А определяет пространство состояний пациента:

$$|A| = |K_1| \times |K_2| \times |K_3| \times |K_4| \times |K_5|, \quad (1)$$

где *K1–K5* – значения критериев оценки состояния пациента для прогнозирования рецидивирующего ИМ [20].

$$A = \{a_i\}, \tag{2}$$

где $a_i=(a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, a_{i4}, a_{i5})$ − векторная оценка i-го состояния пациента, $a_{ij} \in K_i$.

Этап 4. Определение вероятности возникновения постинфарктного синдрома предлагается осуществлять с использованием формулы (4) для оценки функции выживания:

$$S_q(t) = \prod_{j=1}^{j} \frac{n_j - d_j}{n_j}, \tag{3}$$

где n_j – число пациентов, для которых критический момент не наступил до момента времени t_i; d_j – число смертей в момент t_i; q – номер исследуемой группы, $q = 0$ – пациенты с инфарктом миокарда передней локализации; $q = 1$ – пациенты с инфарктом миокарда задней локализации.

Далее определяется вероятность развития постинфарктного синдрома у пациента в зависимости от локализации инфаркта миокарда по методу множественной регрессии Кокса.

Этап 5. Прогнозирование рецидивирующего ИМ предлагается проводить с использованием интерполяционного полинома по формуле

$$f\left(k_{i1}\ldots k_{ij}\ldots k_{zn}\right) = \sum_{i_1=1}^{|K_1|}\ldots\sum_{i_j=1}^{|K_j|}\ldots\sum_{i_n=1}^{|K_n|} b_{i_1\ldots i_j\ldots i_n} k_{i1}^{|K_1|-i_1}\ldots\times$$
$$\times k_{ij}^{|K_j|-i_j}\ldots\times k_{zn}^{|K_n|-i_n}, \tag{4}$$

где $(k_{i1}\ldots k_{ij}\ldots k_{zn})$ − вектор состояния пациента; $b_{i1\ldots ij\ldots in}$ − коэффициенты при соответствующем члене.

В зависимости от полученного значения функции определяется мера близости к каждому классу. Такая классификация дает ответ, будет ли пациент иметь рецидив заболевания и чем он закончится.

Этап 6. Определение риска внезапной коронарной смерти предлагается осуществлять с использованием методов анализа выживания.

Этап 7. Формирование заключения. На основании информации, которая была получена на этапах 4, 5, 6, врач-кардиолог делает вывод о прогнозе заболевания.

Разработка функциональной модели процесса прогнозирования. Функциональная модель процесса прогнозирования исхода инфаркта миокарда разрабатывалась с использованием демонстрационной версии CASE-средства All Fusion Process Modeler 7 (BPwin), которое поддерживает методологию IDEF0 (функциональная модель), IDEF3 (WorkFlowDiagram) и DFD (DataFlowDiagram).

На первом шаге создания IDEF0-диаграммы были описаны все ее элементы: вход, выход, управление, механизм и принцип работы. На рис. 1 представлена схема функциональной структуры информационной системы прогнозирования исхода инфаркта миокарда.

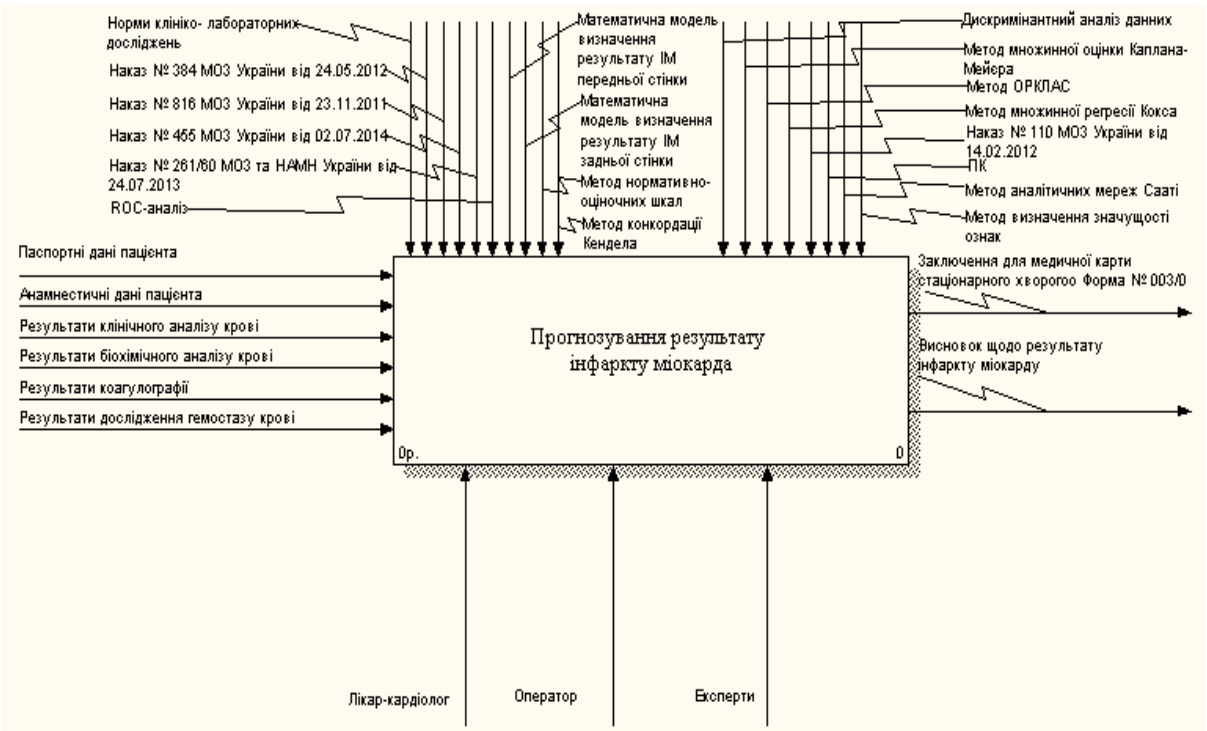


Рис. 1. Схема функциональной структуры информационной системы определения исхода ИМ (контекстная диаграмма)

Для функционирования такой системы необходимы: персональный компьютер (ПК), программно

реализованные методы статистической обработки и анализа медицинских данных (линейный дискриминантный анализ, методы анализа выживаемости), методы вербального анализа решений, результаты показателей клинико-лабораторных исследований, а также, нормативно-справочные документы (приказ № 384 МЗО Украины от 24.05.2012 г. «Про затвердження та впровадження медико-технологічних документів зі стандартизації медичної допомоги при артеріальній гіпертензії», приказ № 816 МЗО Украины от 23.11.2011 г. «Про затвердження та впровадження медико-технологічних документів зі стандартизації медичної допомоги на засадах доказової медицини», приказ МЗО Украины № 455 от 02.07.2014 г. «Про затвердження та впровадження медико-технологічних документів зі стандартизації медичної допомоги при гострому коронарному синдромі з елевацією сегмента ST», приказ МЗО Украины и НАМН Украины № 261/60 от 24.07.2013 г. «Про систему кардіологічної допомоги в закладах охорони здоров'я»).

На вход контекстной диаграммы поступают паспортные и анамнестические данные пациента, результаты клинического анализа крови (уровень содержания эритроцитов, лейкоцитов, лимфоцитов и моноцитов, количество палочкоядерных и сегментоядерных нейтрофилов, уровень гемоглобина и скорость оседания эритроцитов – СОЭ), биохимических анализов крови (уровень ферментов аланинаминотрасферазы (АЛТ) и аспартатаминотрансферазы (АСТ), концентрация мочевины, количество свободного и связанного билирубина), результаты коагулографии и результаты исследования гемостаза крови (содержание фибриногена Б, значение протромбинового индекса и показатель времени рекальцификации плазмы). Анамнестические данные пациента включают: сведения о наличие анемии; типе ИМ, виде сердечной недостаточности, степень гипертонии, наличие сопутствующих заболеваний, вид болевого синдрома.

Для более детального описания информационной системы определения исхода ИМ была разработана диаграмма декомпозиции первого уровня, которая представлена на рис. 2.

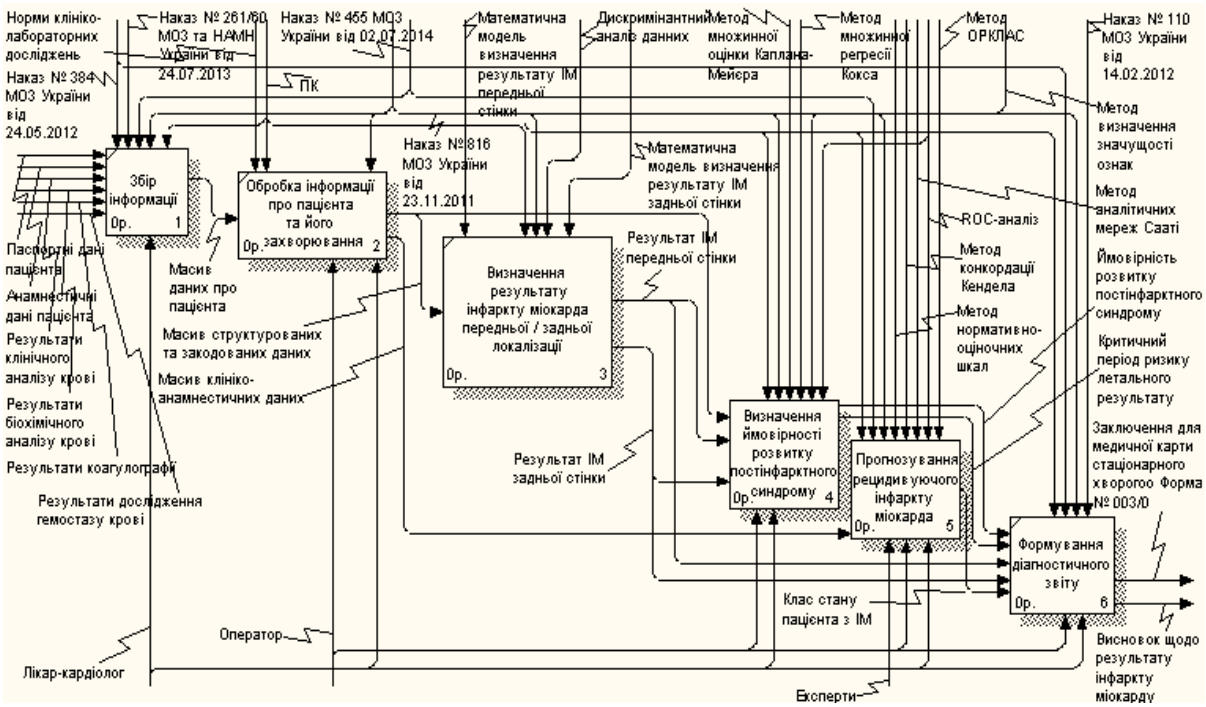


Рис. 2. Схема функциональной структуры информационной системы прогнозирования исхода ИМ (декомпозиция 1-го уровня)

Модель прогнозирования исхода ИМ включает в себя шесть важнейших процессов: «Сбор информации», «Обработка информации о пациенте и его заболевании», «Определение исхода ИМ передней и задней локализации», «Определение вероятности развития постинфарктного синдрома», «Прогнозирование рецидивирующего ИМ», «Формирование диагностического отчета».

На начальном этапе оказания медицинской помощи регистрируются данные результатов клинического и биохимического анализов крови, анамнестические данные пациента, результаты коагулографии и гемеостаза крови, а также паспортные данные пациента. Затем проводится обработка входных показателей, определяется исход ИМ передней или задней локализации, определяется вероятность развития постинфарктного синдрома, а также, прогнозирование рецидивирующего ИМ. В последнем процессе формируется диагностическое заключение и хранятся полученные результаты исхода ИМ.

Результатом работы «Сбор информации» является информация о пациенте, которая приходит на вход работы «Обработка информации о пациенте и его заболевании», результатом которой являются структурированные и закодированные данные.

Работа «Определение исхода инфаркта миокарда передней/задней локализации» получает входные данные с предыдущей работы. А ее результатом являются модели определения исхода инфаркта миокарда передней и задней локализации, на основании которых далее определяется вероятность развития постинфарктного синдрома и прогнозирование рецидивирующего инфаркта миокарда. Эта информация

используется при работе блока «Формирование диагностического отчета», который выдает результаты в медицинской форме № 003/0 – заключение для медицинской карты стационарного больного, а также обеспечивает вывод результата исхода инфаркта миокарда.

Таким образом, процесс «Определения вероятности развития постинфарктного синдрома», представленный на диаграмме первого уровня, детализируется с помощью пяти функций на диаграмме второго уровня. Диаграмма декомпозиции второго уровня представлена на рис. 3.

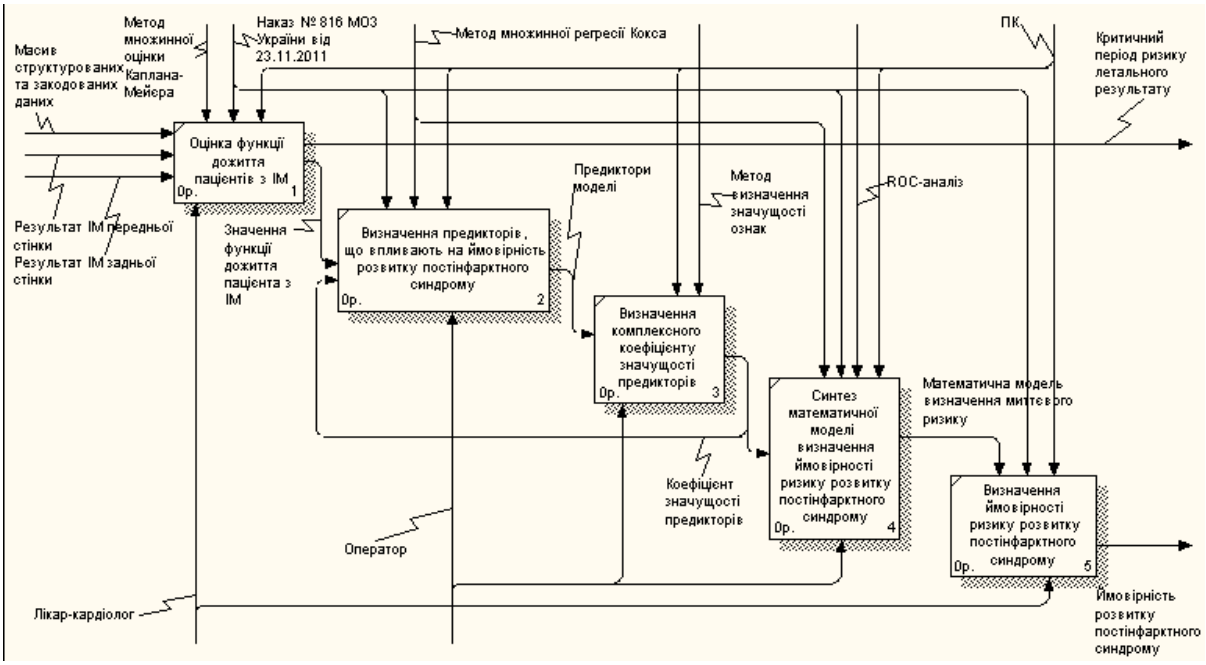


Рис. 3. Схема функциональной структуры информационной системы определения исхода инфаркта миокарда (декомпозиция процесса «Определение вероятности развития постинфарктного синдрома»)

Данный процесс включает в себя «Оценку функции выживания пациентов с инфарктом миокарда», «Определение предикторов влияющих на вероятность развития постинфарктного синдрома», «Определение комплексного коэффициента значимости предикторов», «Синтез математической модели определения вероятности развития постинфарктного синдрома», «Определение вероятности развития постинфарктного синдрома». Перечисленные этапы связаны между собой.

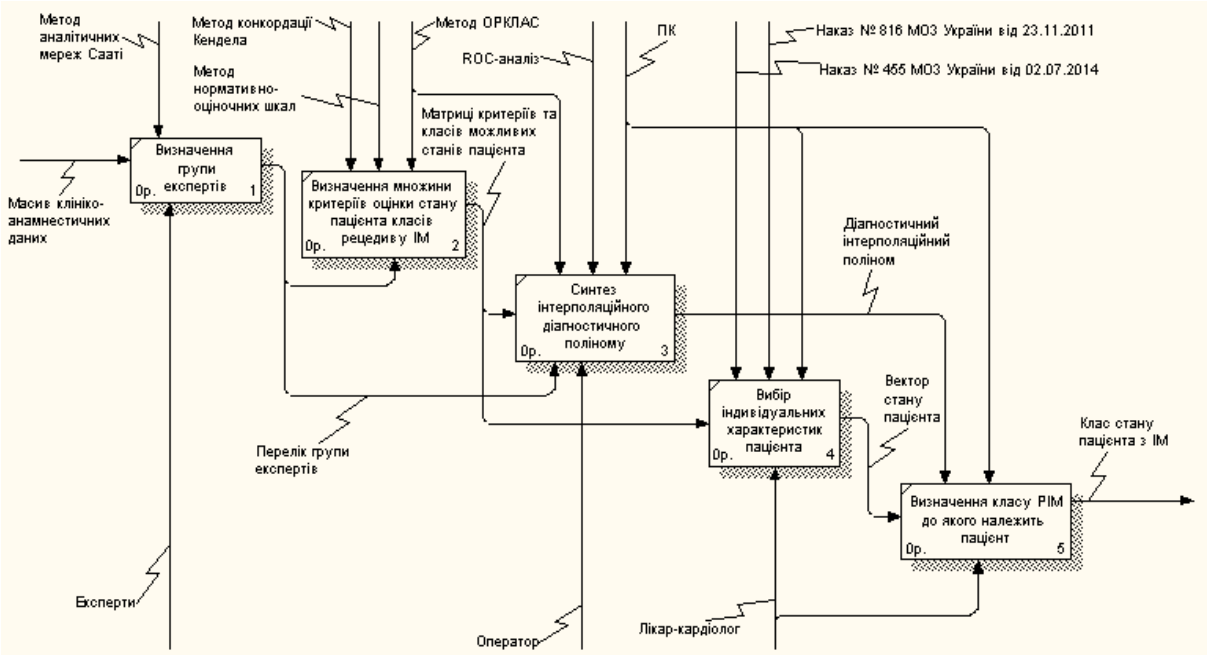


Рис. 4. Схема функциональной структуры информационной системы определения исхода инфаркта миокарда (декомпозиция процесса «Прогнозирование рецидивирующего инфаркта миокарда»)

Результатом первой работы является значение функции выживания пациента с инфарктом миокарда и критический период, в который может развиться постинфарктный синдром. На выходе второй работы

получаем предикторы модели, влияющие на вероятность развития постинфарктного синдрома. Полученные данные поступают на начало работы «Определение комплексного коэффициента значимости предикторов». Далее полученные коэффициенты значимости предикторов следуют на вход работы «Синтез математической модели определения вероятности развития постинфарктного синдрома», на выходе которой мы получаем математическую модель определения вероятности развития постинфарктного синдрома. На выходе последней работы получаем вероятность развития постинфарктного синдрома у пациента с инфарктом миокарда.

Диаграмма декомпозиции второго уровня для процесса «Прогнозирование рецидивирующего инфаркта миокарда» представлена на рис. 4.

Это декомпозиция процесса «Прогнозирование рецидивирующего инфаркта миокарда». Данный процесс включает в себя такие работы: «Определение группы экспертов», «Определение множества критериев оценки состояния пациента и классов рецидива инфаркта миокарда», «Синтез интерполяционного диагностического полинома», «Выбор индивидуальных характеристик пациента», «Определение класса рецидивирующего инфаркта миокарда к которому принадлежит пациент». Все этапы связаны между собой.

Результатом первой работы является сформированная группа экспертов, которая следует на начало работы «Определение множества критериев оценки состояния пациентов и классов рецидива инфаркта миокарда». На выходе второй работы получаем матрицу критериев и классов возможных состояний пациента. Полученные данные поступают на начало работы «Синтез интерполяционного диагностического полинома», результатом которой является разработанный диагностический полином. Далее данные с работы «Определение множества критериев оценки состояния пациента и классов рецидива инфаркта миокарда» поступают на вход работы «Выбор индивидуальных характеристик пациента», где формируется вектор состояния пациента, который поступает на вход работы «Определение класса рецидивирующего инфаркта миокарда к которому принадлежит пациент». Результатом последней работы является класс состояния пациента с инфарктом миокарда.

Построение информационной системы. Структурна схема информационной системы прогнозирования исхода инфаркта миокарда [21] показана на рис. 5 и обеспечивает собой логически связанное взаимодействие биологической и технической подсистем.

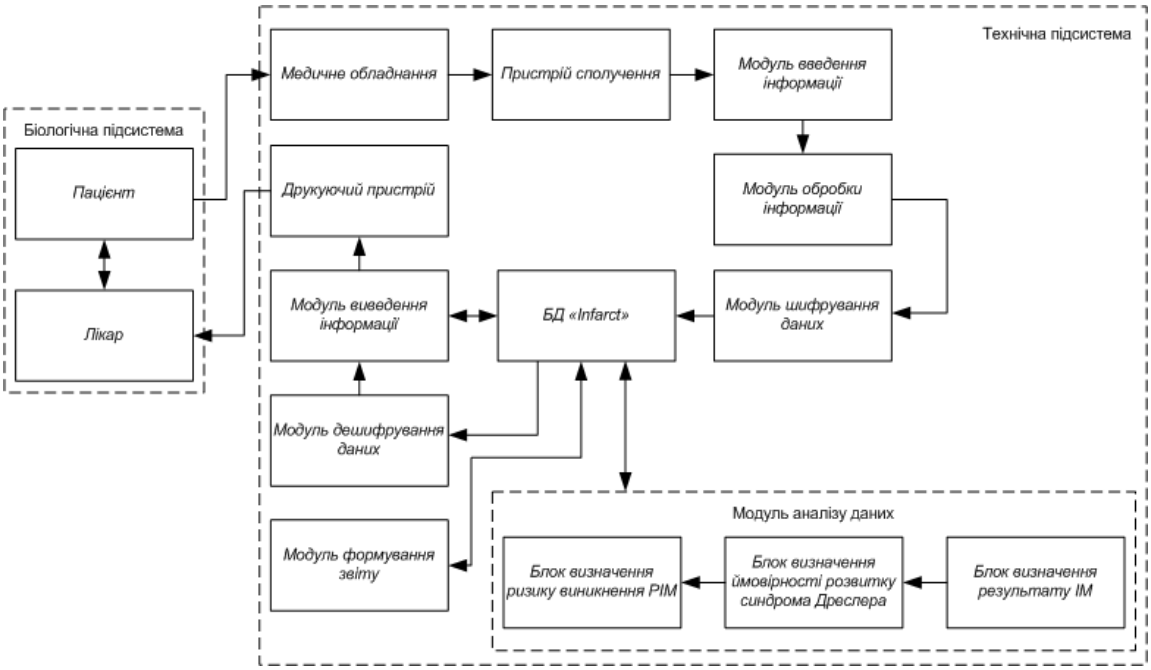


Рис. 5. Структурна схема информационной системы прогнозирования исхода инфаркта миокарда

Система ориентирована на информационное обеспечение лечебно-диагностического процесса в специализированном медицинском учреждении. После поступления пациента в инфарктное отделение врач проводит его осмотр и собирает данные анамнеза, которые поступают через блок ввода информации в БД. Затем врач проводит диагностику состояния сердечно-сосудистой системы с использованием электрокардиографа. Для организации обмена информацией между медицинским оборудованием и ЭВМ предусмотрено устройство сопряжения на базе интерфейса RS-232. Параллельно проводится забор крови пациента для проведения клинико-лабораторных исследований, результаты которых также через блок ввода информации поступают в БД. БД позволяет вести учет больных с диагнозом «Инфаркт миокарда», а также хранить результаты проведения клинико-лабораторных и клинико-инструментальных исследований. База данных информационной системы прогнозирования протекания и исхода инфаркта миокарда разработана в [22].

Заключение. Разработана и предложена информационная технология прогнозирования результата

инфаркта миокарда, которая включает базовые информационные процессы определения исхода инфаркта миокарда передней и задней локализации, определение вероятности развития постинфарктного синдрома и прогнозирование рецидивирующего инфаркта миокарда. Предложенная технология, реализованная в информационной системе, дает возможность врачу-специалисту получать количественные характеристики, необходимые для принятия решений о своевременном назначении лечебно-профилактических процедур с целью снижения количества летальных случаев в госпитальном и постгоспитальном периодах.

Литература

1. Ященко, Ю. Б. Динаміка захворюваності та смертності внаслідок хвороб системи кровообігу в Україні у регіональному аспекті / Ю. Б. Ященко, Н. Ю. Кондратюк // Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України. – 2012. – № 3. – 25–29.

2. Коваленко, В. М. Хвороби системи кровообігу у структурі смертності населення України: міфи і реальність / В. М. Коваленко, А. П. Дорогой, Ю. М. Сіренко // Український кардіологічний журнал. – 2013. – № 9. – 22–29.

3. Сыркин, А. Л. Инфаркт миокарда / А. Л. Сыркин. – 3-е изд., пер. и доп. – М. : МИА, 2006. – 466 с.

4. Власов, В. В. Введение в доказательную медицину / В. В. Власов. – М. : МедиаСфера, 2001. – 392 с.

5. Нестеров, Ю. И. Вторичная профилактика инфаркта миокарда в первичном звене здравоохранения / Ю. И. Нестеров // Медицина в Кузбассе. – 2009. – № 1. – С. 3–9.

6. Role of activated CaMKII in abnormal calcium homeostasis and I Na remodeling after myocardial infarction: insights from mathematical modeling / T. J. Hund, K. F. Decker, E. Kanter et al. // Journal of molecular and cellular cardiology. – 2008. – Vol. 45, No 3. – P. 420–428.

7. Incidence, temporal trends, and prognostic impact of heart failure complicating acute myocardial infarction: the SWEDEHEART registry (Swedish Web-System for Enhancement and Development of Evidence-Based Care in Heart Disease Evaluated According to Recommended Therapies): a study of 199,851 patients admitted with index acute myocardial infarctions, 1996 to 2008 / L. Desta, T. Jernberg, I. Löfman // JACC: Heart Failureю – 2015. – № 3, vol. 3. – P. 234-242.

8. Предикторы летального исхода острого инфаркта миокарда у пациентов молодого возраста / Гарганеева, А. А., Борель, К. Н., Округин, С. А., Кужелева, Е. А. // Клиническая медицина. – 2017. – № 8, Т. 95. – С. 713-718.

9. Куликова, К. Ю. Исследование течения инфаркта миокарда у мужчин моложе 60 лет / К. Ю. Куликова // Процессы управления и устойчивость. – 2015. – № 1, Т. 2. – С. 293-298.

10. Захарова, А. Е. Клинические аспекты прогнозирования течения острого инфаркта миокарда / А. Е. Захарова, В. Ф. Кулаков // Медицинский вестник Юга России. - 2015. – № 3. – С. 128-131.

11. Prediction of all-cause mortality and heart failure admissions from global left ventricular longitudinal strain in patients with acute myocardial infarction and preserved left ventricular ejection fraction / M. Ersbøll, N. Valeur, U. M. Mogensen et al. // Journal of the American College of Cardiology. – 2013. – Vol. 61, № 23. – P. 2365-2373.

12. Comprehensive prognosis assessment by CMR imaging after ST-segment elevation myocardial infarction / I. Eitel, S. de Waha, J. Wöhrle et al. // Journal of the American College of Cardiology. – 2014. – № 12, vol. 64. – P. 1217-1226.

13. Прогнозирование исхода инфаркта миокарда у больных с сахарным диабетом 2-го типа пожилого и старческого возраста / Терехова, А. Л., Зилов, А. В., Мельниченко, Г. А., Верткин, А. Л. // Медицинский совет. – 2015. – № 2. – С. 58-62.

14. Суспицына, И. Н. Факторы риска и прогнозирование развития инфаркта миокарда у мужчин различных возрастных групп / И. Н. Суспицына, И. А. Сукманова // Российский кардиологический журнал. – 2016. – № 8. – С. 58-63.

15. Суспицына, И. Н. Прогнозирование развития инфаркта миокарда у пациентов среднего и пожилого возраста с учетом гендерных особенностей факторов риска / И. Н. Суспицына, И. А. Сукманова // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2016. – № 3, Т. 15. – С. 37-42.

16. Моделирование риска развития сердечно-сосудистых заболеваний и их осложнений на индивидуальном и групповом уровнях / Бойцов С.А., Шальнова С.А., Деев А.Д., Калинина А.М. // Терапевтический архив. – 2013. – № 9, Т. 85. – С. 4-10.

17. Медична система прийняття та підтримки прийняття рішень / Д. Х. Штофель, Л. Г. Коваль, С. М. Злепко, Л. В. Космач // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Серія: Інформатика та моделювання. – 2013. – № 19 (992). – С. 167–172.

18. Метод прогнозирования исхода инфаркта миокарда на ранних стадиях развития заболевания [Электронный ресурс] / А. И. Бых, Е. В. Высоцкая, В. В. Никонов, С. В. Якубовская // Проблеми інформаційних технологій. − 2009. − № 2 (006). − Режим доступа к статье : www.nbuv.gov.ua/old_jrn/natural/Pit/2009_2/Buh.htm

19. Developing a method for prediction of relapsing myocardial infarction based on interpolation diagnostic polynomial / Sofia Yakubovska, Olena Vysotska, Andrei Porvan et al. // Eastern-European Journal of

Enterprise Technologies: Information and controlling system. – 2016. – Vol. 5, No 9 (83). – P. 41–49.

20. Патент України на кор. модель № 56702 Спосіб прогнозування летального кінця інфаркту міокарда лівого шлуночка передньої локалізації / Бих А. І., Висоцька О. В., Ніконов В. В., Якубовська С. В. –
МПК (2011.01) G01N33/53, G01N33/573. – Опубл. 25.01.2011. – Бюл. № 2. – 4 с.

21. Автоматизированная система исхода инфаркта миокарда / С. В. Якубовская, В. В. Никонов, А. П. Порван и др. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія «Механіко-технологічні системи та комплекси». – 2015. – № 49 (1158). – С. 58–62.

22. Разработка базы данных информационной системы определения исхода инфаркта міокарда / Е. В. Высоцкая, С. В. Якубовская, В. В. Никонов и др. // Технологический аудит и резервы производства. Серия «Информационные технологии». – 2016. – № 1 (2). – С. 21–28.

References

23. Yaschenko, Yu. B. DinamIka zahvoryuvanostI ta smertnostI vnaslIdok hvorob sistemi krovoobIgu v UkraYinI u regIonalnomu aspektI / Yu. B. Yaschenko, N. Yu. Kondratyuk // VIsnik sotsIalnoYi gIgIEni ta organIzatsIYi ohoroni zdorov'ya UkraYini. – 2012. – № 3. – 25–29.

24. Kovalenko, V. M. Hvorobi sistemi krovoobIgu u strukturI smertnostI naselennya UkraYini: mIfi I realnIst / V. M. Kovalenko, A. P. Dorogoy, Yu. M. SIrenko // UkraYinskiy kardIologIchniy zhurnal. – 2013. – № 9. – 22–29.

25. Syirkin, A. L. Infarkt miokarda / A. L. Syirkin. – 3-e izd., pererab. i dop. – M. : MIA, 2006. – 466 s.

26. Vlasov, V. V. Vvedenie v dokazatelnuyu meditsinu / V. V. Vlasov. – M. : MediaSfera, 2001. – 392 s.

27. Nesterov, Yu. I. Vtorichnaya profilaktika infarkta miokarda v pervichnom zvene zdravoohraneniya / Yu. I. Nesterov // Meditsina v Kuzbasse. – 2009. – № 1. – S. 3–9.

28. Role of activated CaMKII in abnormal calcium homeostasis and I Na remodeling after myocardial infarction: insights from mathematical modeling / T. J. Hund, K. F. Decker, E. Kanter et al. // Journal of molecular and cellular cardiology. – 2008. – Vol. 45, No 3. – P. 420–428.

29. Incidence, temporal trends, and prognostic impact of heart failure complicating acute myocardial infarction: the SWEDEHEART registry (Swedish Web-System for Enhancement and Development of Evidence-Based Care in Heart Disease Evaluated According to Recommended Therapies): a study of 199,851 patients admitted with index acute myocardial infarctions, 1996 to 2008 / L. Desta, T. Jernberg, I. Löfman // JACC: Heart Failureю – 2015. – № 3, vol. 3. – P. 234-242.

30. Prediktoryi letalnogo ishoda ostrogo infarkta miokarda u patsientov molodogo vozrasta / Garganeeva, A. A., Borel, K. N., Okrugin, S. A., Kuzheleva, E. A. // Klinicheskaya meditsina. – 2017. – # 8, T. 95. – S. 713-718.

31. Kulikova, K. Yu. Issledovanie techeniya infarkta miokarda u muzhchin molozhe 60 let /K. Yu. Kulikova // Protsessyi upravleniya i ustoychivost. – 2015. – № 1, T. 2. – S. 293-298.

32. Zaharova, A. E. Klinicheskie aspektyi prognozirovaniya techeniya ostrogo infarkta miokarda /A. E. Zaharova, V. F. Kulakov // Meditsinskiy vestnik Yuga Rossii. - 2015. – № 3. – S. 128-131.

33. Prediction of all-cause mortality and heart failure admissions from global left ventricular longitudinal strain in patients with acute myocardial infarction and preserved left ventricular ejection fraction / M. Ersbøll, N. Valeur, U. M. Mogensen et al. // Journal of the American College of Cardiology. – 2013. – Vol. 61, № 23. – P. 2365-2373.

34. Comprehensive prognosis assessment by CMR imaging after ST-segment elevation myocardial infarction / I. Eitel, S. de Waha, J. Wöhrle et al. // Journal of the American College of Cardiology. – 2014. – № 12, vol. 64. – P. 1217-1226.

35. Prognozirovanie ishoda infarkta miokarda u bolnyih s saharnyim diabetom 2-go tipa pozhilogo i starcheskogo vozrasta / Terehova, A. L., Zilov, A. V., Melnichenko, G. A., Vertkin, A. L. // Meditsinskiy sovet. – 2015. – № 2. – S. 58-62.

36. Suspitsyina, I. N. Faktoryi riska i prognozirovanie razvitiya infarkta miokarda u muzhchin razlichnyih vozrastnyih grupp / I. N. Suspitsyina, I. A. Sukmanova // Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal. – 2016. – № 8. – S. 58-63.

37. Suspitsyina, I. N. Prognozirovanie razvitiya infarkta miokarda u patsientov srednego i pozhilogo vozrasta s uchetom gendernyih osobennostey faktorov riska / I. N. Suspitsyina, I. A. Sukmanova // Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika. – 2016. – № 3, T. 15. – S. 37-42.

38. Modelirovanie riska razvitiya serdechno-sosudistyih zabolevaniy i ih oslozhneniy na individualnom i gruppovom urovnyah / Boytsov S.A., Shalnova S.A., Deev A.D., Kalinina A.M. // Terapevticheskiy arhiv. – 2013. – № 9, T. 85. – S. 4-10.

39. Medichna sistema priynyattya ta pIdtrimki priynyattya rIshen / D. H. Shtofel, L. G. Koval, S. M. Zlepko, L. V. Kosmach // VIsnik NatsIonalnogo tehnIchnogo unIversitetu «HarkIvskiy polItehnIchniy Institut». SerIya: Informatika ta modelyuvannya. – 2013. – № 19 (992). – S. 167–172.

40. Metod prognozirovaniya ishoda infarkta miokarda na rannih stadiyah razvitiya zabolevaniya [Elektronnyiy resurs] / A. I. Byih, E. V. Vyisotskaya, V. V. Nikonov, S. V. Yakubovskaya // Problemi InformatsIynih tehnologIy. − 2009. − № 2 (006). − Regim dostupa : www.nbuv.gov.ua/old_jrn/natural/Pit/2009_2/Buh.htm

41. Developing a method for prediction of relapsing myocardial infarction based on interpolation diagnostic polynomial / Sofia Yakubovska, Olena Vusotska, Andrei Porvan et al. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Information and controlling system. – 2016. – Vol. 5, No 9 (83). – P. 41–49.

42. Patent UkraYini na kor. model № 56702 SposIb prognozuvannya letalnogo kIntsya Infarktu mIokarda lIvogo shlunochka perednoYi lokalIzatsIYi / Bih A. I., Visotska O. V., NIkonov V. V., Yakubovska S. V. –MPK (2011.01) G01N33/53, G01N33/573. – Opubl. 25.01.2011. – Byul. № 2. – 4 s.

43. Avtomatizirovannaya sistema ishoda infarkta miokarda / S. V. Yakubovskaya, V. V. Nikonov,A. P. Porvan i dr. // VIsnik NatsIonalnogo tehnIchnogo unIversitetu «HPI». SerIya «MehanIko-tehnologIchnI sistemi ta kompleksi». – 2015. – № 49 (1158). – S. 58–62.

44. Razrabotka bazyi dannyih informatsionnoy sistemyi opredeleniya ishoda infarkta mIokarda /E. V. Vyisotskaya, S. V. Yakubovskaya, V. V. Nikonov i dr. // Tehnologicheskiy audit i rezervyi proizvodstva. Seriya «Informatsionnyie tehnologii». – 2016. – № 1 (2). – S. 21–28.

Отримана/Received : 7.2.2018 р. Надрукована/Printed :26.3.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.311

YU.V. MALOHULKO, O.V. SIKORSKA, YU.V. SEMENIUK, V.V. HAVTIRKO
Vinnytsia National Technical University

RESEARCH OF PROBLEMS OF DISTRIBUTED GENERATION SOURCES IN LOCAL POWER SYSTEMS

Actually *local power grid is distribution grid, which includes a source of distributed generation. Reconfiguration is the process of changing the configuration of the distribution network by changing the position of switching devices. Distributed generation sources are optimally located at points where they provide the maximum reduction in losses in the distribution network. Distributed generation sources make changes to network configuration and modes. Sources of distributed generation are a rational way to ensure the reliability of power supply in the areas of centralized energy. Distributed generation sources allows to maintain the level of stresses in the local power systems nodes, reducing the loss of active and reactive power in the network, ensuring a higher level of reliability of consumers' power supply by maintaining the power of some consumers from distributed generation sources in the case of an emergency shutdown of the main power supply of the power supply system. The connection of the distributed generation sources to the local electrical systems has a positive effect on its properties, but has some problems with the modes controlling of power supply system. The article shows the research of problems of distributed generation sources connecting and their normal functioning in local power systems. It was shown the necessity of coordination of the management of the normal and post-accident modes of distribution electric networks with the distributed generation sources by the reconfiguration of these networks. It is proposed to take into account the reliability of electricity supply of consumers due to losses from lack of electricity. The control coordination of the normal and post-accident modes of the distribution electric network is solved by minimizing switching from normal to post-accident mode.*

Keywords: distributed generation sources, normal mode, post-accident mode, local power system.

Ю.В. МАЛОГУЛКО, О.В. СІКОРСЬКА, Ю.В. СЕМЕНЮК, В.В. ХАВТРИРКО
Вінницький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМ ДЖЕРЕЛ РОЗПОДІЛЕНОГО ГЕНЕРУВАННЯ В ЛОКАЛЬНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМАХ

В статті досліджено проблеми підключення джерел розподіленого генерування та їх нормального функціонування в локальних енергосистемах. Показано необхідність координації керування нормальними та післяаварійними режимами розподільних електричних мереж з джерелами розосередженого генерування шляхом реконфігурації цих мереж. Запропоновано врахувати надійність електропостачання споживачів через збитки від недовідпуску електроенергії.

Ключові слова: джерела розосередженого генерування, нормальний режим, післяаварійний режим, локальна енергосистема.

Introduction

In recent decades, the world has been experiencing intensive development of distributed generation sources (DGS). Power plants that use fuel combustion processes (mini-gas turbine and gas-fired plants, biomass plants, etc.) as well as renewable natural resources (small hydro power plants, wind turbines, photovoltaic installations, etc.) belong to such sources [1, 2]. During operation in the system of distributed generation source, they are connected at low voltage (6–35 kV) to the local power system (LPS) [3]. The connection of the DGS to LPS has a positive effect on its properties, but along with it creates new problems that are encountered in controlling the modes of power supply system with distributed generation.

Research results

A local power grid, which is essentially a distribution grid, which includes a source of distributed generation, may be unevenly loaded, and therefore needs to be adjusted for power spreading, which can be achieved by appropriate LPS reconfiguration. Reconfiguration is the process of changing the configuration of the distribution network by changing the position of switching devices, which changes the state of the network. Network reconfiguration is necessary for minimizing losses, switching the load from one feeder to another, improving voltage and stability levels, and eliminating the emergency sections of the power line.

DGS installations are optimally located at points where they provide the maximum reduction in losses in the distribution network. If the correct location of these sources is done, power loss can be significantly reduced. "Island" mode is one of the important post-accident modes of LPS with DGS. In the presence of voltage in the network, distributed generation generates electricity with parameters that fully correspond to the network. With the loss of electricity from the main supply substation, it is possible to isolate the installation of the DGS at a power close to the load, which will ensure, first of all, the supply of electricity to consumers of the first category. In the case of an accident in the main network, the DGS switches to stand-alone mode and follows the load parameters.

Distributed generation sources make major changes to network configuration and modes, resulting in requirements for traditional protection and system management vary. Currently, standards for connecting DGS to the power supply system are based on the principle that distributed generation should not affect the normal performance of protection and management of the system. Sources of distributed generation are a practically rational way to ensure the reliability of power supply in the areas of centralized energy. The main way for improving reliability is the structural redundancy.

When solving various problems, the calculation of the established mode of the electric system plays an important role. Distributed electrical networks (DENs) have some features that make it possible to use simpler methods than for hard-core electrical networks. For distributed electric networks, methods that take into account the

topological peculiarity of such networks are more effective. The most widely used method is the reverse (direct) trace, which allows you to solve the problem of calculating the steady mode of the DEN with a sufficiently complete mathematical description [4–7].

The presence of DGS allows to maintain the level of stresses in the LPS nodes, reducing the loss of active and reactive power in the network, ensuring a higher level of reliability of consumers' power supply by maintaining the power of some consumers from DGS in the case of an emergency shutdown of the main power supply of the power supply system.

In view of this, an important problem is the coordination of the management of the normal modes of LPS with DGS by reconfiguring the network while ensuring minimum power losses and maintaining the necessary limits of voltage and currents, as well as managing post-accident modes while ensuring a minimum of power shortages as a result of the loss of the main power supply by forming "islands". Such a multicriterion problem can not always be reduced to a one-sentence statement. Such a task can be solved by consistent actions, with the use of the method of colony of ants or the allocation of "islands" by the formation of cells to reconfigure the distribution network [8].

The general approach to coordinate the management of the normal and post-accident modes of LPS, including the DGS, is as follows. In normal modes, the purpose of control is to reconfigure the DEN by breaking the circuits, while the minimum active power loss in the network is considered as a criterion:

$$\sum_{n\in N} R_{nm} I_{nm}^2 \to \min,\ m\in M, \tag{1}$$

where M is the set of considered normal modes in accordance with the schedules of the load of consumers and the loading of DGS; N is number of branches in the network; R_{nk}, I_{lk} are active resistance and current in the branch n for m mode.

In the post-accident mode, when the main supply point is lost, the task arises to provide the responsible customers with electricity by isolating the "islands" that activate the DGS, which operate on a balanced load. The criterion for the allocation of "islands" is the minimum of power shortages in post-accident modes:

$$\left(\sum_{m\in J} P_{jm} - \sum_{m\in J} P_{ki}\right) \to \min,\ m\in M,\ i\in G, \tag{2}$$

where G – the number of considered post-accident modes at the loss of the main power supply; P_{jm} – load in j network node in normal mode m; P_{ki} – load in node k in the post-accident mode of the i-th part of the network, including J nodes belonging to all the "islands"; J – number of nodes in the network.

In the process of management coordinating of the normal and post-accident modes of LPS, an important task is to check the implementation of restrictions on the levels of stresses in nodes and currents in the network branches, both in normal and in post-accident modes

$$U_{jm\ \min} \le U_{jm} \le U_{jm\ \max}, \tag{3}$$

$$U_{ki\min} \le U_{ki} \le U_{ki\max}, \tag{4}$$

$$I_{nm} \le I_{nm\max}, \tag{5}$$

$$I_{nm} \le I_{nm\max}, \tag{6}$$

Verification of restrictions (3)–(6) in the process of optimization of criteria (1) and (2), based on calculations of the established modes of DEN, which are carried out using the method of reverse (direct) trace, taking into account DGS in LPS.

When allocating and forming "islands" it is necessary to take into account two peculiarities:

1) the presence of restrictions (4), (6), along with restrictions (3), (5), which means the difference in the requirements for the levels of stress in the nodes and the marginal loading of the branches of the network in post-accident modes compared to normal regimes;

2) providing the supply of electricity primarily to the most responsible consumers in the LPS nodes.

The control coordination of the normal and post-accident modes of the distribution electric network is solved by minimizing switching from normal to post-accident mode. This is important in terms of minimizing the number of switching devices, their possible failures, as well as staff errors, and causes the task to be considered as a complex multicriterion task.

Common approach is to take into account the reliability of electricity supply to consumers due to losses from lack of electricity, which allows the multi-criteria problem to be reduced to one-criterion [8]. To do this, you need to have accurate estimates of specific losses from power breaks for different consumers, which is not always possible. Therefore, a method of successive approximations was used to solve this multicriterion problem. In the task of allocating distributed generation to the equivalent load when power losses from the supply substation of the main electrical network (the allocation of "islands") one must take into account a number of requirements:

1) the balance between distributed generation and load must be met, so as not only to fully utilize but not to overload the distributed generation. The condition of the power balance in the "island" is using a surplus algorithm through the formation of cells. For each cell the condition is checked:

$$\sum P_{Sn} - \sum P_{Ln} \ge 0, \tag{7}$$

where *S, L* – source and load indices in the cell, *n* – cell index;

2) the formation of cells is carried out by connecting the nearest loads in the first place, while the distance of the load nodes is estimated by the total resistance of the branches connecting the source and the consumer;

3) in the formation of cells most important consumers are provided with the electricity first of all;

4) at each step of the algorithm, the flow distribution is calculated on the "island" and the restrictions are checked (4), (6). In the case of non-compliance with these restrictions, the formation of an "island" is terminated in the previous step.

One of the problems in calculating the established mode of the electric network is the uncertainty of the output data. Such uncertainty may arise when measuring the parameters of the electrical network elements. However, the main uncertainty is due to the inaccuracy of measuring, calculating or predicting loads.

The algorithm of the reverse (direct) trace works as follows:

- the initial approximation of stresses in the nodes is set equal to the voltage of the feeding node (source);
- the reverse trace is to calculate the currents of loads in the nodes and branches, starting from the final nodes of the circuit and moving to the feeding node;
- the direct trace consists in the calculation of the voltage drops in the branches, the values of the voltages in the nodes, starting from the feeding node, and the control of the convergence of the iterative process on the basis of voltage modules comparison of the current iteration and the previous one.

The procedure for solving a multicriterion problem by the method of successive approximations is as follows:

- all partial criteria are located and numbered in the order of their relative importance;
- optimize the first, most important criterion;
- assign the value of the permissible deviation from the optimum of the first criterion (errors);
- optimize the second most important partial criterion, provided that the value of the first criterion does not differ from the optimal value more than the value of the established error.

In general, if necessary, the described procedure may include several iterations converging to a satisfactory compromise solution.

Conclusion

When the local power system with the distributed generation sources is functioning, there is a need for coordination of normal modes control. This is possible when reconfiguring the network, which will reduce power losses. Also, the necessary limits of voltage and current changes will be observed.

The research has shown that the as managing post-accident modes while ensuring a minimum of power shortages as a result of the loss of the main power supply by forming "islands". Taking into account the complication of calculating the multi-criteria problem, it is proposed to take into account the reliability of consumers' power supply due to losses from lack of electricity, which allows the multi-criteria problem to be reduced to one-criteria.

References

Kudria S. O. Status and prospects for the development of renewable energy in Ukraine (based on the materials of the scientific report at the meeting of the Presidium of the NAS in Ukraine 7 October 2015) / S.O. Kudria // Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy. – 2015. – № 12. – P. 19–26. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2015_12_6.

Kudria S.O., Budko V.I. «Introduction to specialty. Alternative and renewable energy»: electronic course of lectures – Kyiv: National Technical University of Ukraine («KPI»), 2013. – 360 p.

Burykin O.B. Optimization of the local electrical systems mode with renewable energy sources / Burykin O.B., Malohulko Yu.V. // Scientific works of DonNTU. Series «Electrical engineering and electrotechnology». – 2013. – № 2. – Vol. 15 (338). – P. 42–46. – ISSN 2074-2630.

Zhu J.Z. Optimal reconfiguration of electrical distribution network using the refi ned genetic algorithm, Electric Power Systems Research, Vol. 62 , No. 1, 2002, p. 37–42.

5. Zhu Z., Xiong X.F., Hwang D., Sadjadpour A. "A comprehensive method for reconfiguration of electrical distribution network" IEEE/PES 2007 General Meeting, Tampa, USA, June 24–28 , 2007.

Shirmohammadi D. and Hong H.W., Reconfiguration of Electric Distribution Networks for Resistive Line Losses Reduction, IEEE Trans. PWRD, Vol. 4, No. 2, 1989, p. 1492–1498.

Bat-Ondral B. Minimization of losses in the distribution grid based on the selection of places for its opening using the ants colony algorithm // Materials of the All-Russian scientific and technical conference "Improving the efficiency of production and use of energy in the conditions of Siberia", Irkutsk: Irkutsk State Technical University, 2008.

Bat-Ondral B. Improvement of the power supply systems reliability of consumers in the use of distributed generation // Methodological issues of reliability testing of large energy systems. Yield 59. Irkutsk: ISEM SB RAS, 2009.

Lezhniuk P.D. Assestment stability generation of solar power plants in the problems of providing balance reliability / P.D. Lezhniuk, V.O. Komar, S.V. Kravchuk, J-P. Ngoma. Sciences of Europe. – Vol 4. – No 9 (2016). – p. 90–96. – ISSN 3162-2364.

Отримана/Received : 13.2.2018 р. Надрукована/Printed :26.3.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Лежнюк П.Д.

УДК 621.317

В.С. ПЕТРУШАК
Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА КАСКАДНИХ ПОМНОЖУВАЧІВ ЧАСТОТИ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ГЕНЕРАТОРА НА БАЗІ ПРЯМОГО МЕТОДУ СИНТЕЗУ ЧАСТОТИ

Запропонований спосіб каскадного перемноження частоти для цифрового генератора періодичних сигналів на базі прямого методу синтезу частоти. Розроблено функціональні схеми каскадних помножувачів частоти на 2, 4 і 15. Представленні осцилограми, які підтверджують працездатність розроблених каскадних помножувачів частоти. Запропонований варіант функціональної схеми цифрового генератора періодичних сигналів на базі прямого метода синтезу частоти з використанням схеми каскадного помноження частоти.

***Ключові слова**: цифровий генератор, періодичний сигнал, прямий метод синтезу частоти, цифро-аналогове перетворення.*

V.S. PETRUSHAK
Khmelnytskiy National University

DEVELOPMENT OF CASCADE FREQUENCY MULTIPLIERS FOR DIGITAL GENERATOR ON THE DIRECT DIGITAL SYNTHESIS BASE

Modern synthesizers based on direct synthesis of frequency are used in many areas of radio engineering. At the same time, such synthesizers are characterized by all the disadvantages of digital signal processing devices: quantization noise, overlaying of spectra of a digital signal, limited upper operating frequency. An important factor for the direct method of frequency synthesis is the value of the clock frequency. Accordingly, the higher the value of the clock frequency, the higher the value of the frequency of the periodic signal at the output of the digital generator. Modern industry produces a wide range of external oscillator generators. However, most of them work at frequencies up to 100 MHz. Outdoor clock generators operating at frequencies above 100 MHz are expensive and require solving electromagnetic compatibility issues, which also leads to an increase in the cost of the device. One solution to this problem is hardware frequency multiplication. The method of direct digital frequency synthesis for the generation of periodic signals has been improved. The method of cascade frequency multiplication for a digital periodic signal generator based on the direct method of frequency synthesis is proposed. The functional schemes of cascade frequency multipliers for 2, 4 and 15 are developed. The developed multipliers are assembled on the formers of short pulses made on the basis of D-triggers. However, such a formwork may be an element of delay. Representation of oscillograms, which confirm the performance of the developed cascade frequency multipliers. The proposed version of the functional scheme of the digital generator of periodic signals based on the direct method of frequency synthesis using the cascade frequency multiplication scheme.

***Keywords:** digital generator, periodic signal, direct digital synthesis, digital-to-analogue conversion.*

Вступ

Цифрові синтезатори на базі прямого синтезу частоти застосовуються в багатьох сферах сучасної радіотехніки. Для них наявні наступні переваги:

- Істотно підвищується точність налаштування і стабільність частоти;
- Спрощується процес налаштування апаратури;
- З'являється можливість програмного переналаштування частоти та істотно збільшується швидкість зміни робочої частоти;
- Відкриваються нові можливості цифрового формування модульованих радіосигналів;
- У деяких схемах синтезаторів вдається покращити спектральну чистоту сигналів у порівнянні зі звичайними автогенераторами;
- Покращуються масо габаритні характеристики і надійність пристрою.

Разом з тим, таким синтезаторам властиві всі недоліки цифрових пристроїв обробки сигналів: шум квантування, накладення спектрів цифрового сигналу, обмежена верхня робоча частота.

Важливим фактором для прямого методу синтезу частоти є значення тактової частоти[1]. Відповідно чим вище значення тактової частоти тим вищим буде і значення частоти періодичного сигналу на виході цифрового генератора (ЦГ). Сучасна промисловість випускає широкий спектр зовнішніх генераторів тактової частоти. Проте більшість з них працює на частотах, що не перевищують 100 МГц. Зовнішні тактові генератори, що працюють на частотах вище 100 МГц є високовартісними і потребують вирішення питань електромагнітної сумісності, що також веде до збільшення вартості пристрою. Одним із рішень цієї проблеми є апаратне помноження частоти, як це показано в [2]. Таке рішення дозволить використати всі технічні ресурси елементної бази.

Експериментальна частина

Варіант схеми найпростішого помножувача частоти на 2 представлено на рис. 1, а осцилограми, що підтверджують його роботу на рис. 2. Даний помножувач зібрано на двох формувачах коротких імпульсів, що виконані на основі D-тригерів [3]. Разом з тим такий формувач може бути і елементом затримки. Схема формувача коротких імпульсів і осцилограми, що підтверджують його роботу представлені на рис. 3 і рис. 4 відповідно.

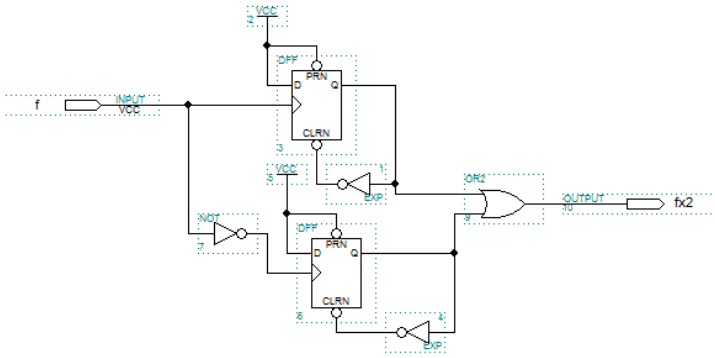


Рис. 1. Схема найпростішого помножувача частоти на 2

Рис. 2. Осцилограми роботи помножувача частоти на 2

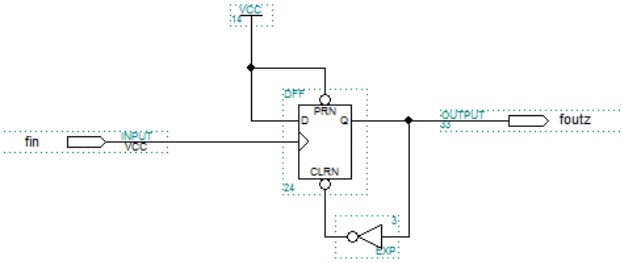


Рис. 3. Схема формувача коротких імпульсів

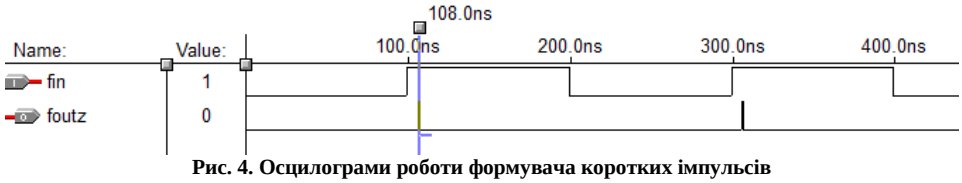


Рис. 4. Осцилограми роботи формувача коротких імпульсів

Частота на виході такого помножувача буде визначатися як:

$$F_{x2} = \frac{1}{T_{in}} + \frac{1}{T_{in}} = \frac{2}{T_{in}} = 2 \cdot F_{in}, \quad (1)$$

де T_{in} – період тактового сигналу,

F_{in} – частота тактового сигналу.

Як видно з рис. 4 схема формувача коротких імпульсів додає до вихідного сигналу затримку, що відповідає часу проходження сигналу через тригер і рівна 8 нс. Така властивість даної схеми дозволяє використовувати її у якості елемента затримки.

Для побудови помножувача на 4 скористаємося двома помножувачами на 2 і певною кількістю елементів затримки, виконаних на основі формувачів коротких імпульсів і ввімкнених послідовно, для розрідження вихідних імпульсів. Схема помножувача на 4 і осцилограми, що підтверджують його працездатність представлені на рис. 5 і 6 відповідно.

Частота на виході помножувача на 4 буде визначатися як:

$$F_{x2} = \frac{2}{T_{in}} + \frac{2}{T_{in}+12 \cdot T_z} = \frac{2 \cdot T_{in}+24 \cdot T_z+2 \cdot T_{in}}{T_{in}^2+12 \cdot T_{in} \cdot T_z} \approx 4 \cdot F_{in}, \quad (2)$$

де T_z – час затримки проходження сигналу через тригер.

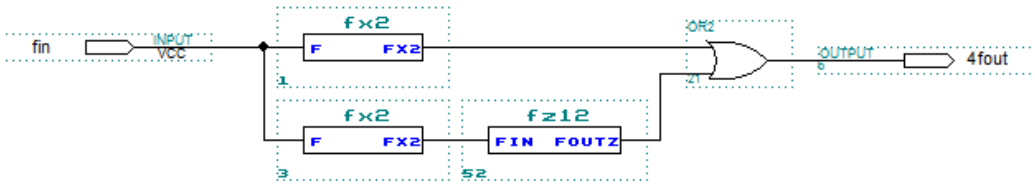


Рис. 5. Схема помножувача частоти на 4

Рис. 6. Осцилограми роботи помножувача на 4

Подібна схема помножувача на 15 та осцилограми, що підтверджують її працездатність представленні на рис. 7 і рис. 8 відповідно.

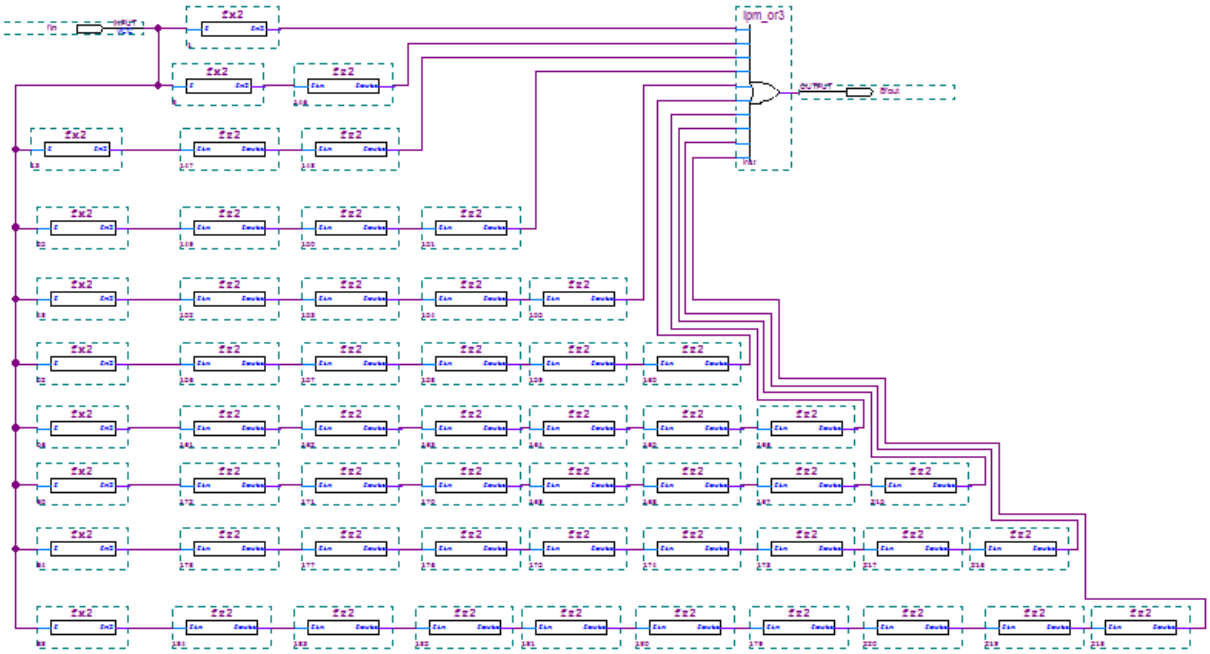


Рис. 7. Схема помножувача на 15

Рис. 8. Осцилограми роботи помножувача на 15

Разом з тим розроблена функціональна схема цифрового генератора періодичних сигналів на базі прямого методу синтезу частоти (рис. 9) з використанням розроблених помножувачів (блок fx6) і представленні осцилограми (рис. 10), які отримано в середовищі Quartus [4] і підтверджують працездатність розробленого пристрою.

Принцип роботи схеми полягає в наступному.

Тактова частота, поділена на q, через логічний елемент *AND2*, надходить на реверсивний лічильник *countr20*. Якщо на вхід plus реверсивного лічильника *countr20* подано високий рівень, то відбувається збільшення двійкового коду на його виході. Якщо ж високий рівень подано на вхід minus – то зменшення. Ділення частоти відбувається за допомогою лічильника *count1024*.

Двійковий сигнал з реверсивного лічильника *countr20* надходить на вхід суматора *adder*. В суматорі відбувається додавання двійкового коду, який надходить з реверсивного лічильника *countr20* з двійковим кодом, який зберігається в регістрі *reg*. При цьому значення двійкового коду в регістрі *reg* поновлюється з тактовою частотою, помноженою на коефіцієнт *C*. За допомогою модуля *fx6*, виконаного на *D*-тригерах, відбувається помноження тактової частоти у 8 разів.

Разом з тим двійковий код з семи старших розрядів регістра *reg* надходить на вхід дешифратора *functab7x6*. В залежності від двійкового коду на входах дешифратора *sinsaw* і *square* на виході дешифратора формуються цифрові відліки миттєвих значень сигналів: синусоїдної, прямокутної і пилкоподібної форми. Формування двійкового коду на входах дешифратора *sinsaw* і *square* відбувається за допомогою двох розрядного лічильника, який забрано на двох *D*-тригерах.

З виходу *dac[5..0]* дешифратора *functab7x6* двійковий код надходить на ЦАП, де перетворюється в аналогове значення періодичного сигналу.

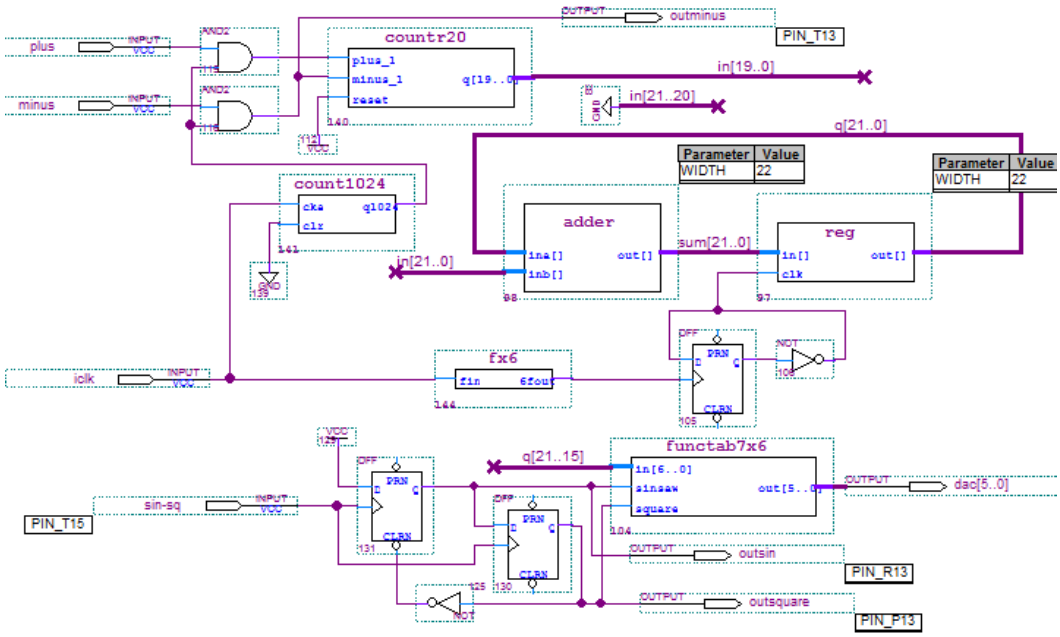


Рис. 9. Функціональна схема цифрового генератора періодичних сигналів на базі прямого метода синтезу частоти

Рис. 10. Осцилограми для пояснення принципу роботи схеми

Висновки

Запропонований спосіб каскадного перемноження частоти для цифрового генератора періодичних сигналів на базі прямого методу синтезу частоти.

Розроблено та досліджено функціональні схеми каскадних помножувачів частоти на 2, 4 і 15.

Запропонований варіант функціональної схеми цифрового генератора періодичних сигналів на базі прямого метода синтезу частоти з використанням схеми каскадного помноження частоти.

Література

Манассевич В. Синтезаторы частот (Теория и проектирование) / В. Манасевич ; пер. с англ. ; под ред. А. С. Галина – М. : Связь 1979. – 394 с.

Петрушак В.С. Розробка цифрового генератора періодичних сигналів на базі прямого методу синтезу частоти і дослідження роботи його функціональних блоків / В.С. Петрушак, С.В. Самолюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. – № 6. – С. 187–190.

Опадчий Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника. Полный курс / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров – М. : "Горячая Линия-Телеком", 1999. – 768 с.

Опис системи автоматизованого проектування Quartus [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.altera.com/products/design-software/fpga-design/quartus-prime/overview.html.

References

Manassevich V. Sintezatory chastot (Teorija i proektirovanie) / V. Manasevich ; per. s angl. ; pod red. A. S. Galina – M. : Svjaz’ 1979. – 394 s.

Petrushak V.S. Rozrobka cifrovogo generatora periodichnih signaliv na bazi prjamogo metodu sintezu chastoti i doslidzhennja roboti jogo funkcional’nih blokiv / V.S. Petrushak, S.V. Samoljuk // Visnik Hmel’nic’kogo nacional’nogo universitetu. – 2017. – № 6. – S. 187–190.

Opadchij Ju.F. Analogovaja i cifrovaja jelektronika. Polnyj kurs / Ju.F. Opadchij, O.P. Gludkin, A.I. Gurov – M. : "Gorjachaja Linija-Telekom", 1999. – 768 s.

Opis sistemi avtomatizovanogo proektuvannja Quartus [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : https://www.altera.com/products/design-software/fpga-design/quartus-prime/overview.html.

Отримана/Received : 6.2.2018 р. Надрукована/Printed :26.3.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Полікаровських О. І.

УДК 504.064, 681.785

С.М. КВАТЕРНЮК
Вінницький національний технічний університет

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНИХ ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ ДЛЯ ЗАДАЧ ЕКОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ

Здійснено математичне моделювання переносу випромінювання у приповерхневих шарах природних водних середовищ із завислими частинками фітопланктону на основі багатошарової структури, кожен з шарів якої має поглинаючі і розсіювальні властивості, зумовлені його біофізичними та структурними параметрами. Розраховано внесок кожного із шарів водного середовища у загальний коефіцієнт дифузного відбиття на поверхні середовища у видимому спектральному діапазоні.

Ключові слова: математична модель, неоднорідні природні середовища, спектральні характеристики, водний об'єкт, фітопланктон.

S. M. KVATERNIUK
Vinnytsia National Technical University

MATHEMATICAL MODELING OF NATURAL AQUATIC ENVIRONMENT FOR THE OBJECTIVES OF ENVIRONMENTAL CONTROL

Multispectral method can be used for applied tasks of ecological control of parameters of aqueous media, which are reduced to measuring their parameters in the near-surface layer. Mathematical modelling of multilayered natural water environments is an actual problem for applied problems of indirect measurement of their parameters and environmental control. The aim of the work is mathematical modelling of multi-layered natural aqueous media with suspended particles of phytoplankton, which is necessary to determine the contribution of each layer to the overall coefficient of diffuse reflection on the surface of the medium in a given spectral range. Mathematical modelling of radiation transfer in the near-surface layers of natural aqueous media with suspended phytoplankton particles on the basis of a multilayer structure, each of whose layers has absorbing and scattering properties due to its biophysical and structural parameters, is carried out. The obtained results of solving a direct optical problem allow us to relate the parameters of natural water media with their spectral characteristics. In turn, this allows us to solve the inverse problem of determining the parameters of aqueous media based on the results of multispectral measurements, that is, indirectly measure the parameters of water objects by the multispectral method, which are of interest for the tasks of ecological control of their state, namely the concentration of phytoplankton particles, the concentration or the ratio of pigments in the near-surface layer water and the like. The calculated spectral characteristics of each layer of the aqueous medium are consistent with the results of the experimental measurements. It was established, what effect is the change in the phytoplankton concentration in the aqueous medium on its spectral characteristics, and also on the overall coefficient of diffuse reflection on the surface.

Keywords: mathematical model, heterogeneous natural environments, spectral characteristics, water object, phytoplankton.

Вступ

Мультиспектральний метод може використовуватись для прикладних задач екологічного контролю параметрів водних середовищ, що зводяться до вимірювання їх параметрів у приповерхневому шарі. За умови відомих параметрів неоднорідних природних середовищ необхідно спочатку розв'язати пряму задачу розрахунку спектральних характеристик водних середовищ [1–3]. Розв'язання зворотної оптичної задачі, наприклад, з використанням регресійних рівнянь, дає можливість визначити параметри середовища за результати мультиспектральних вимірювань [4]. Математичне моделювання багатошарових природних водних середовищ є актуальною проблемою для прикладних задач опосередкованого вимірювання їх параметрів та екологічного контролю. Метою роботи є математичне моделювання багатошарових природних водних середовищ з завислими частинками фітопланктону, що необхідно для визначення внеску кожного із шарів у загальний коефіцієнт дифузного відбиття на поверхні середовища у заданому спектральному діапазоні. Для досягнення вказаної мети необхідно розв'язати такі задачі: здійснити математичне моделювання спектральних характеристик одного шару водного середовища із завислими частинками фітопланктону; здійснити математичне моделювання переносу випромінювання у багатошаровій структурі природного водного середовища; оцінити внесок кожного із шарів водного середовища у загальний коефіцієнт дифузного відбиття на поверхні середовища у видимому спектральному діапазоні.

Математичне моделювання спектральних характеристик окремого шару водного середовища із завислими частинками фітопланктону

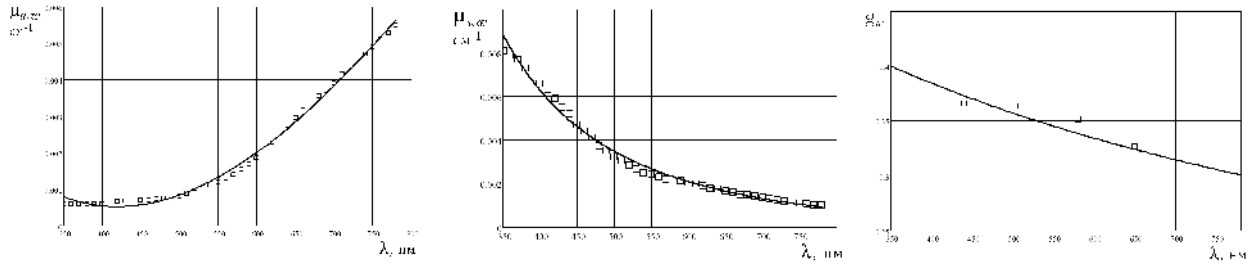
Спектральні характеристики показників поглинання $\mu_{a,w}(\lambda)$, розсіювання $\mu_{s,w}(\lambda)$ та фактору анізотропії для природного водного середовища апроксимуємо на основі результатів експериментальних досліджень (див. рис. 1):

$$\mu_{s,w}(\lambda) = 8,209 \cdot 10^{3} \lambda^{-2,33} - 0,016 \lambda^{-0.494}, \quad (1)$$

$$\mu_{a,w}(\lambda) = 0,012 - 6,149 \cdot 10^{-5} \lambda + 9,482 \cdot 10^{-8} \lambda^{2} - 3,429 \cdot 10^{-11} \lambda^{3}, \quad (2)$$

$$g_{w}(\lambda) = 0,554 - 5,753 \cdot 10^{-4} \lambda + 4,383 \cdot 10^{-7} \lambda^{2} - 1,508 \cdot 10^{-10} \lambda^{3}. \quad (3)$$

Спектральні характеристики показників поглинання основних пігментів фітопланктону вводимо в математичну модель використовуючи лінійну інтерполяцію на основі таблиці експериментальних даних вимірювань [6]. Графіки спектральних характеристик показників поглинання основних пігментів фітопланктону наведено на рис. 2.



а) б) в)

Рис. 1. Спектральні характеристики показників поглинання (а), розсіювання (б) та фактору анізотропії (в) природного водного середовища

В свою чергу показники поглинання та розсіювання фітопланктону залежать від його біофізичних та структурних параметрів. Використовуємо формулу показника розсіювання для оптично м'яких частинок [5]:

$$\mu_{s,ph}(\lambda) = 440,72P(1-P)(1,4-P)\left(\frac{685}{\lambda}\right), \quad (4)$$

де P – об'ємний вміст пігментів фітопланктону, λ – довжина хвилі в нм.

Показник поглинання фітопланктону визначається як:

$$\mu_{a,ph}(\lambda) = C_{Chla}\mu_a^{Chla} + C_{Chlb}\mu_a^{Chlb} + C_{carot}\mu_a^{carot}, \quad (5)$$

де C_{Chla}, C_{Chlb}, C_{carot} – молярна концентрація основних пігментів у біомасі фітопланктону; μ_a^{Chla}, μ_a^{Chlb}, μ_a^{carot} – молярні показники поглинання основних пігментів фітопланктону.

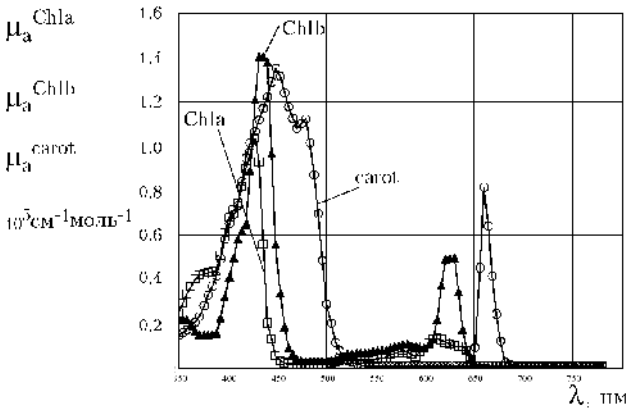
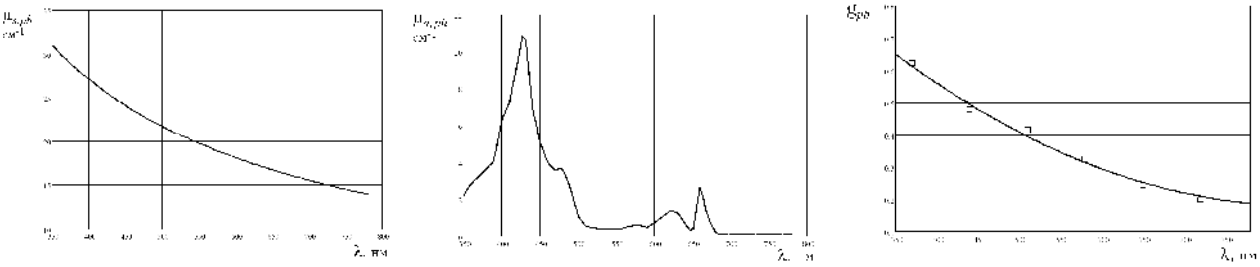


Рис. 2. Спектральні характеристики показників поглинання основних пігментів фітопланктону

Спектральна характеристика фактору анізотропії частинок фітопланктону визначається розмірами і формою його частинок. У математичній моделі приймаємо середній діаметр частинок фітопланктону 10 мкм та їх сферичну форму. Тоді апроксимована спектральна характеристика фактору анізотропії фітопланктону буде мати такий вигляд:

$$g_{ph}(\lambda) = 1,554 - 3,213\cdot10^{-3}\lambda + 1,863\cdot10^{-6}\lambda^2 + 3,325\cdot10^{-11}\lambda^3. \quad (6)$$

Графіки спектральних характеристик показників поглинання, розсіювання та фактору анізотропії фітопланктону обчислені за формулами (4)–(6) наведено на рис. 3.



а) б) в)

Рис. 3. Спектральні характеристики показників поглинання (а), розсіювання (б) та фактору анізотропії (в) фітопланктону

Виходячи з одношарової моделі, проведемо математичне моделювання природного водного середовища з завислими частинками фітопланктону, що має такі параметри: біомаса фітопланктону від 17,7 до 35,4 мг/л; співвідношення між хлорофілом а та хлорофілом *b* у фітопланктоні 0,8; співвідношення між каротиноїдами та сумарним вмістом хлорофілів 0,27; вміст хлорофілу а у сирій масі фітопланктону 0,5%. Приймемо товщину кожного з шарів водного середовища 10 см та однакову концентрацію завислих частинок фітопланктону у всіх шарах. Розраховуємо спектральні характеристики показника розсіювання (1), ефективних показників розсіювання (2) та ослаблення (3), ймовірності виживання фотону(4), коефіцієнту направленого пропускання (5) та коефіцієнту дифузного відбиття (6) шару природного водного середовища за методикою наведеною у [1–3]. На рис. 4 представлено графіки розрахованих спектральних характеристик для шару природного водного середовища.

Математичне моделювання переносу випромінювання у багатошаровій структурі природного водного середовища

Спектральні характеристики коефіцієнту дифузного відбиття на поверхні водного середовища відповідають складовим від його окремих шарів:

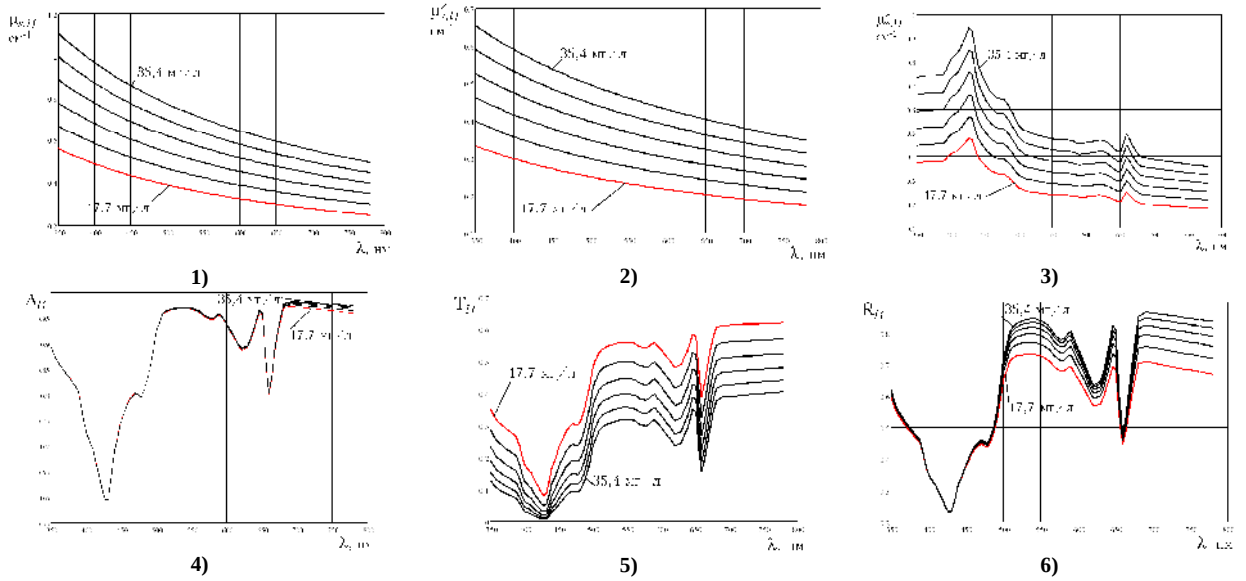


Рис. 4. Спектральні характеристики шару природного водного середовища

$$R_d = \sum_{i=1}^{n} R'_{di} \tag{7}$$

де R_{di} − складова коефіцієнту дифузного відбивання, що створюються від i-го шару, причому

$$R'_{di} = (1 - R_{01})^2 \prod_{j=1}^{i} T^2_{l(j-1)} T_{lj} R_{lj}, \tag{8}$$

де R_{01} − складова коефіцієнту відбиття на межі повітря-водне середовище; T_l – коефіцієнт направленого пропускання шару природного водного середовища, R_l – коефіцієнт дифузного відбиття шару природного водного середовища.

Частка коефіцієнту дифузного відбиття на поверхні природного водного середовища, що вноситься i-м шаром $R_{di} = R'_{di} \cdot 100\% / R_d$. На основі спектральних характеристик для кожного з шарів природного водного середовища розраховуємо частки коефіцієнту дифузного відбиття на поверхні природного водного середовища, що вноситься його i-м шаром та загальний коефіцієнт дифузного відбиття (див. рис. 5).

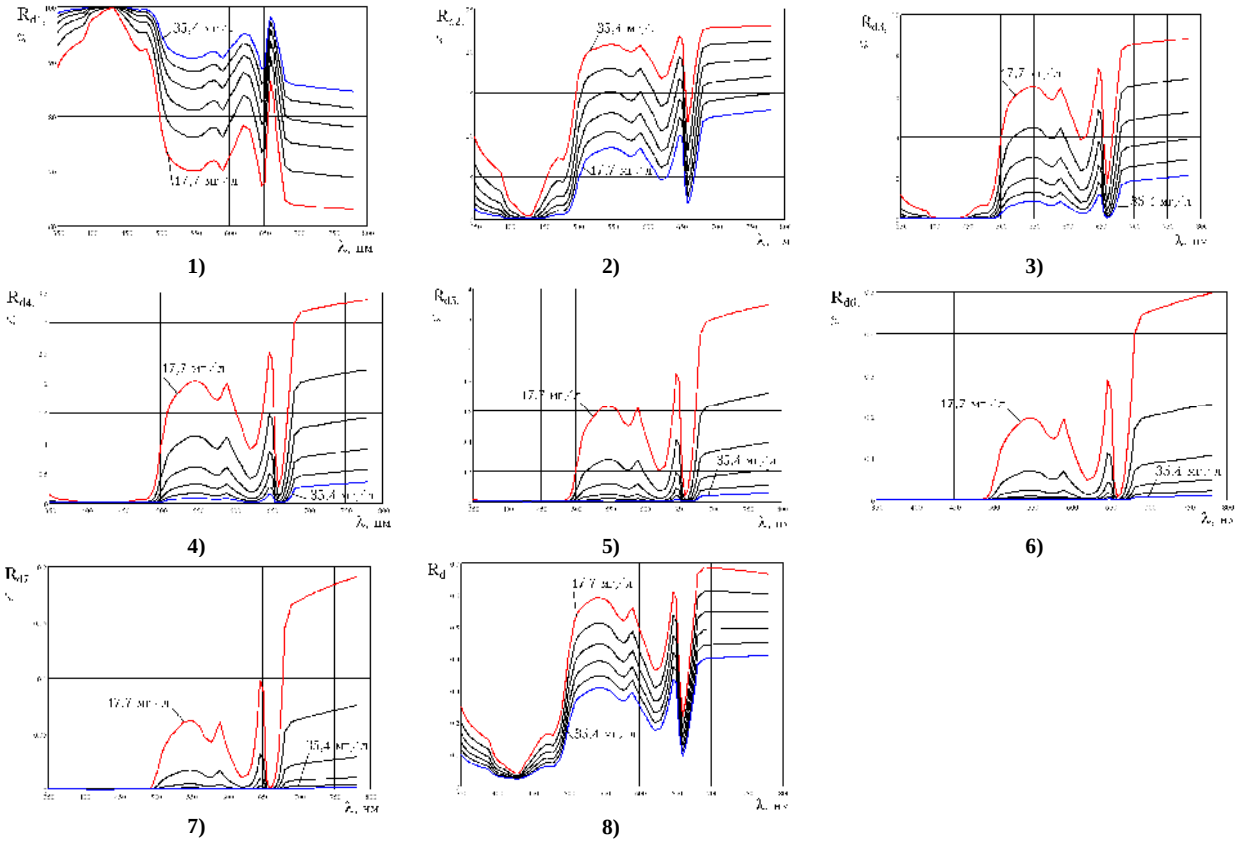


Рис. 5. Спектральні характеристики складових коефіцієнту дифузного відбиття шарів природного водного середовища та загального коефіцієнту дифузного відбиття на його поверхні

Оскільки, при заданих параметрах природного водного середовища із завислими частинками фітопланктону, сьомий шар водного середовища вносить частку у коефіцієнт дифузного відбиття меншу 0,2%, яка суттєво менша порівняно з похибкою мультиспектральних вимірювань, то внеском сьомого шару і шарів, які знаходяться нижче, можна знехтувати. При цьому їх біофізичні та структурні параметри не можливо виміряти з поверхні середовища мультиспектральним методом.

Висновки

Здійснено математичне моделювання переносу випромінювання у приповерхневих шарах природних водних середовищ із завислими частинками фітопланктону на основі багатошарової структури, кожен з шарів якої має поглинаючі і розсіювальні властивості, зумовлені його біофізичними та структурними параметрами. Отримані результати розв'язання прямої оптичної задачі дозволяють пов'язати параметри природних водних середовищ з їх спектральними характеристиками. В свою чергу, це дозволяє розв'язати зворотну задачу визначення параметрів водних середовищ з результатів мультиспектральних вимірювань, тобто опосередковано вимірювати мультиспектральним методом параметри водних об'єктів, які цікаві для задач екологічного контролю їх стану, а саме концентрацію частинок фітопланктону, концентрацію чи співвідношення пігментів у приповерхневому шарі води тощо. Розраховані спектральні характеристики кожного шару водного середовища узгоджуються з результатами експериментальних вимірювань. При цьому встановлено, який вплив має зміна концентрації фітопланктону у водному середовищі на його спектральні характеристики, а також на загальний коефіцієнт дифузного відбиття на поверхні.

Література

Кватернюк С.М. Математичне моделювання переносу випромінювання у багатошарових неоднорідних біологічних середовищах для задач мультиспектрального вимірювального контролю та діагностики / С.М. Кватернюк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2016. – № 2(32). – С. 57–63.

Моделювання спектральних характеристик шару епідермісу біотканини шкіри як об'єкту біомедичної діагностики / В. Г. Петрук, О. Є. Кватернюк, Ю. С. Любчик, С. М. Кватернюк // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. – № 2. – С. 218–222.

Петрук В. Г. Математичне моделювання впливу параметрів окремих шарів на спектральні характеристики неоднорідних біотканин / В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, О. Є. Кватернюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 3. – С. 50–56.

Кватернюк С. М. Метод та засоби мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю стану неоднорідних біологічних середовищ / С. М. Кватернюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2017. – № 1. – С. 15–22.

Пушкарева А. Е. Методы математического моделирования в оптике биоткани. Учебное пособие / А. Е. Пушкарева. – СПб : СПбГУ ИТМО, 2008. – 103 с.

Retrieval of Foliar Information about Plant Pigment Systems from High Resolution Spectroscopy / S. Ustin, A. Gitelson, S. Jacquemoud et al. // Remote Sensing of Environment. – 2009. – V.113. – Suppl.1 – P. 67–77.

References

Kvaternyuk S. M. Matematychne modeliuvannia perenosu vyprominiuvannia u bahatosharovykh neodnoridnykh biolohichnykh seredovyshchakh dlia zadach multyspektralnoho vymiriuvalnoho kontroliu ta diahnostyky / S. M. Kvaternyuk // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2016. – №2(32). – P. 57–63.

Modelyuvannya spektralnyh harakterystyk sharu epidermisu biotkanyny shkiry yak obyektu biome-dychnoyi diagnostyky / V. G. Petruk, O. Ye. Kvaternyuk, Yu. S. Lyubchy'k, S. M. Kvaternyuk // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2015. – № 2. – P. 218–222.

Kvaternyuk S. M. Matematychne modeliuvannia vplyvu parametriv okremykh shariv na spektralni kharakterystyky neodnoridnykh biotkanyn / V. G. Petruk, S. M. Kvaternyuk, O. Ye. Kvaternyuk et al. // Visnyk Vinnyczkogo politehnichnogo instytutu. – 2015. – №3. – P. 50–56.

Kvaternyuk S. M. Metod ta zasoby multyspektralnogo televizijnogo vymiryuvalnogo kontrolyu stanu neodnoridnyh biologichnyh seredovyshh / S. M. Kvaternyuk // Visnyk Vinnyczkogo politehnichnogo instytutu. – 2017. – №1. – P. 15–22.

Pushkareva A. E. Metody matematycheskoho modelyrovanyia v optyke byotkany. Uchebnoe posobye / A. E. Pushkareva. – SPb: SPbHU YTMO, 2008. – 103 p.

Retrieval of Foliar Information about Plant Pigment Systems from High Resolution Spectroscopy / S. Ustin, A. Gitelson, S. Jacquemoud et al. // Remote Sensing of Environment. – 2009. – V.113. – Suppl.1 – P.67–77.

Отримана/Received : 15.2.2018 р. Надрукована/Printed :26.3.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 681.3

І.Г. ЦМОЦЬ
Національний університет “Львівська політехніка”
О.М. БЕРЕЗЬКИЙ, І.В. ІГНАТЄВ
Тернопільський національний економічний університет

МЕТОД І СТРУКТУРА ПРИСТРОЮ ПАРАЛЕЛЬНОГО ВЕРТИКАЛЬНО-ГРУПОВОГО ОБЧИСЛЕННЯ СУМИ КВАДРАТІВ РІЗНИЦЬ

Проаналізовано методи, алгоритми та структури пристроїв обчислення суми квадратів різниць і визначено їхні недоліки. Визначено, що пристрій обчислення суми квадратів різниць повинен забезпечувати високу ефективність використання обладнання; використання можливостей та переваг НВІС-технологій; малі терміни розробки та невисоку вартість. Запропоновано розробку пристрою обчисленням суми квадратів різниць здійснювати за принципами модульності, узгодження інтенсивності надходження даних з обчислювальною здатністю пристрою, конвеєризації та просторового паралелізму, локалізації та спрощення зв'язків між елементами.

Ключові слова: сума квадратів різниць, пристрій, реальний час, паралельний вертикально-груповий метод, інтенсивність надходження даних, НВІС-структура, алгоритми.

I.G. TSMOTS
National University "Lviv Polytechnic"
OHM. BEREZKY, IV IGNATIEV
Ternopil National Economic University

METHOD AND STRUCTURE OF THE DEVICE OF PARALLEL VERTICAL-GROUP CALCULATION OF CURRENT CURVES

The methods, algorithms and structures of devices for calculating the sum of squares of differences are analysed, and their deficiencies are determined. It is determined that the device for calculating the sum of squares of differences should ensure: high efficiency of the use of equipment; use of opportunities and advantages of VLSI technologies; small development terms and low cost. It is proposed to develop the device for calculating the sum of the squares of differences to implement the principles of modularity, harmonization of the intensity of data entry with the computing ability of the device, conveyor and spatial parallelism, localization and simplification of the relationships between the elements.

Keywords: sum of squares of differences, device, real time, parallel vertically-group method, intensity of data entry, VLSI structure, algorithms.

Постановка проблеми

При розв’язанні задач прогнозування, класифікації та управління системами використовуються мережі радіально базисних функцій (RBF), особливістю яких є висока швидкодія навчання та здатність розв’язувати складні нелінійні завдання. Мережі RBF складається із трьох шарів: вхідного, прихованого та вихідного. Із вхідного шару вектор даних передається на нейрони прихованого шару, число яких відповідає числу встановлених центів RBF. Кожний нейрон прихованого шару отримує таким чином інформацію про вхідний вектор. У кожному нейроні прихованого шару обчислюється радіально-базисна функція $h_i(x)$

$$h_i(x) = \exp[-\frac{(\| x^b - x_i^e \|)^2}{2\delta_i^2}],$$

де x_i^b – вхідний вектор, x_i^e – i-й еталонний центр, δ – параметр розсіювання для одновимірної функції h_i. Дана функція виконує попереднє опрацювання вхідних векторів і визначає їх близькість до еталонних центрів x_i^e, а значення $h_i(x)$ задає ступінь подібності між вхідним вектором x^b і окремими еталонними центрами x_i^e.

Використання RBF-мереж для розв’язання задач у режимі реального часу вимагає високої швидкодії, яка забезпечується апаратною реалізацією. При апаратній реалізації RBF-мереж широкого використовується сучасна елементна база: напівзамовні і замовні надвеликі інтегральні схеми (НВІС), мікропроцесори, мікроконтролери, трансп’ютери та нейрочіпи. Апаратні RBF-мережі переважно реалізуються шляхом апаратного відображення структури алгоритму розв’язання задачі з використанням програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС). Такий підхід до апаратної реалізації вимагає розробки нових методів, алгоритмів і НВІС-структур пристроїв, що реалізують базові операції RBF-мереж. До таких базових операцій відноситься операція обчислення суми квадратів різниць:

$$y = \| x_i^e - x_i^b \|^2 = (x_1^e - x_1^b)^2 + (x_2^e - x_2^b)^2 + ... + (x_N^e - x_N^b)^2 .$$

Режим реального часу накладає обмеження на час реалізації такої операції, який не повинен перевищувати часу надходження даних, тобто обчислення повинно здійснюватися без накопичення затримок. Забезпечити необхідну швидкодію можна шляхом апаратної реалізації з використанням

конвеєризації та просторового розпаралелення процесу обчислення.

Тому актуальною проблемою є розробка НВІС-структур, які реалізують базові операції RBF-мереж.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз задач і галузей застосування нейромереж реального часу показує, що вони їм характерно [8–10]: висока інтенсивність та постійність вхідних потоків даних; високі вимоги до точності результатів; можливість розпаралелення процесу обробки як у часі, так і у просторі; здатність до навчання, самонавчання та самоорганізації під впливом зовнішнього середовища.

У роботах [10–12] проаналізовано існуючі нейромережі та засоби їх реалізації. Аналіз показує, що переважна більшість нейромереж реалізується програмним шляхом і вони мають відносно невисоку продуктивність. Для опрацювання інтенсивних потоків даних використовуються апаратні нейромережі на базі полів ПЛІС або готових нейрочіпів. Основними перевагами використання ПЛІС є: універсальність, надійність, наявність різноманітних і ефективних програмних засобів автоматизованого проектування, які зменшують час проектування та відлагодження проектів. Суттєвими особливостями останніх поколінь ПЛІС є забезпечення часткової реконфігурації в процесі роботи.

У роботах [1–15] проаналізовано підходи до апаратної реалізації нейромережевих базових операцій. Аналіз показав, що для їх апаратної реалізації доцільно використовувати алгоритми та структури подані в базисі елементарних арифметичних операцій (додавання, інверсії та зсуву). Використання базису елементарних арифметичних операцій забезпечує оптимізацію пристроїв за швидкодією, апаратними витратами та збільшує однорідність і регулярність структур.

З проведеного аналізу випливає, що існуючі методи, алгоритми та структури, які використовуються для апаратної реалізації нейромережевих базових операцій мають такі недоліки: не враховують вимоги конкретних застосувань щодо інтенсивності надходження даних; алгоритми та структури не орієнтовані на НВІС-реалізацію; вимагають велику кількість виводів інтерфейсу, яка залежать як від кількості операндів, так і від їх розрядності.

Ціль та задачі дослідження

Ціль роботи – розроблення методу і структури пристрою з паралельним вертикально-груповим обчисленням суми квадратів різниць у реальному часі.

Для досягнення поставленої цілі, необхідно розв’язати наступні задачі:

- сформувати вимоги та вибрати принципи розробки пристрою для обчислення суми квадратів різниць у реальному часі;
- розробити паралельний вертикально-груповий метод обчислення суми квадратів різниць;
- розробити структуру пристрою паралельного вертикально-групового обчислення суми квадратів різниць у реальному часі.

Основний матеріал

Вимоги та принципи розробки пристрою обчислення суми квадратів різниць. Пристрій обчислення суми квадратів різниць повинен забезпечувати [5]:

- високу ефективність використання обладнання;
- ефективне використання можливостей та переваг НВІС-технологій;
- малі терміни розробки та невисоку вартість;
- узгодження інтенсивності надходження даних з обчислювальною інтенсивністю пристрою;
- враховувати вимоги конкретних застосувань;
- зменшення кількості виводів інтерфейсу та внутрішньо схемних зв’язків;
- роботу у реальному часі.

Структурна організація пристрою обчислення суми квадратів різниць визначається за множиною ознак, основними з яких є: кількість операндів, що опрацьовуються одночасно; режими роботи; спосіб організації зв’язків між процесорними елементами (ПЕ). За режимами роботи пристрої обчислення суми квадратів різниць можна розділити на синхронні та асинхронні. В останньому випадку такі пристрої називаються однотактними, так як обробка вхідних даних проводиться без проміжних запам’ятовувань. Швидкодія однотактного пристрою визначається часом спрацювання ПЕ, які лежать на найдовшому шляху проходження даних. Однотактні пристрої є послідовним з точки зору реалізації алгоритму опрацювання даних. Для обробки інтенсивних потоків даних доцільно використовувати синхронні пристрої обчислення суми квадратів різниць, обчислення в яких здійснюється за конвеєрним принципом. Конвеєрні пристрої розбивається на сходинки буферною пам’яттю. Для забезпечення високої швидкодії та ефективності використання обладнання ПЕ сходинок повинні реалізовувати як можна простіші операції з приблизно рівним часом виконання. У конвеєрному пристрої обчислення суми квадратів різниць при подачі тактових імпульсів здійснюється запис результатів виконання операцій у буферну пам’ять. Частота таких тактових імпульсів F_{TI} дорівнює:

$$F_{TI} = \frac{1}{t_{БП} + t_{ОП}}, \quad (1)$$

де $t_{БП}$ – час запису в буферну пам’ять; $t_{ОП}$– час виконання операції в ПЕ.

Основною метою розробки пристрою для обчислення суми квадратів різниць є отримання високоефективної, модульної та регулярної НВІС-структури з обчислювальною інтенсивністю $P_П = F_{TI} sn_s$

узгодженою з інтенсивністю надходження вхідних даних $P_d = F_d m n_к$, де F_d – частота надходження даних; s і m – кількість каналів відповідно опрацювання та надходження даних; n_s і $n_к$ – розрядність каналів відповідно опрацювання і надходження даних.

Вихідною інформацією для розробки високоефективного пристрою обчислення суми квадратів різниць є:

- кількість і розрядність операндів;
- інтенсивність надходження вхідних даних P_d;
- вимоги до інтерфейсу;
- точність обчислень;
- техніко-економічні вимоги і обмеження.

В загальному задачу розробки пристрою обчислення суми квадратів різниць у реальному часі можна сформулювати так:

- визначити склад, характеристики та кількість ПЕ;
- визначити параметри буферної пам'яті;
- визначити необхідні зв'язки між ПЕ та способи обміну;
- синтезувати пристрої управління;
- оцінити основні параметри пристрою.

Процес розробки пристрою обчислення суми квадратів різниць у реальному часі можна звести до виконання наступних етапів:

- розробки алгоритму обчислення суми квадратів різниць та відображення його у вигляді конкретизованого узгодженого потокового графу;
- розроблення структури ПЕ за заданим набором операцій;
- розроблення блоку керування (БК);
- розроблення топології зв'язків, функцій синхронізації обміну між ПЕ та синтез структури пристрою;
- розробка інтерфейсу пристрою.

Результатом розроблення є набір адекватних алгоритму структур, які складаються з БК і обмеженої множини ПЕ, об'єднаних системою комутації та забезпечують технічні вимоги, які висуваються до пристрою.

У пристрої обчислення суми квадратів різниць у реальному часі висока ефективність використання обладнання досягається мінімізацією апаратних затрат при забезпечені реального часу. Перехід від алгоритму обчислення суми квадратів різниць до структури пристрою формально зводиться до мінімізації апаратних затрат при забезпеченні реального часу.

Основними шляхами мінімізації витрат обладнання при розробці пристрою обчислення суми квадратів різниць у реальному часі [6] є розроблення алгоритму, який забезпечить узгодження інтенсивності надходження даних із обчислювальною інтенсивністю пристрою шляхом зміни тривалості конвеєрного такту $T_к = t_{БП} + t_{ОП}$ і розрядності n_s каналів опрацювання даних.

Для оцінювання розробленого пристрою використаємо критерій ефективності використання обладнання E, який враховує кількість виводів інтерфейсу, однорідність структури, кількість і локальність зв'язків, зв'язує продуктивність з витратами обладнання та дає оцінку елементам за продуктивністю. Кількісна величина ефективності використання обладнання для пристрою обчислення суми квадратів різниць визначається так:

$$E = \frac{R m n_к}{T_к n (k_1 W_П + k_2 Q + k_3 Y)} \qquad (2)$$

де R – складність алгоритму обчислення суми квадратів різниць; $T_к$ – конвеєрний такт; n – розрядність операндів; $W_П$ – витрати обладнання на реалізацію пристрою, k_1 – коефіцієнт врахування однорідності, k_2 – коефіцієнт врахування регулярності зв'язків, Q – кількість лініями зв'язку, k_3 – коефіцієнт врахування кількості виводів інтерфейсу, Y – кількість виводів інтерфейсу зв'язку.

Для розроблення пристрою обчислення суми квадратів різниць у реальному часі вибрано такі принципи:

- використання базису елементарних арифметичних операцій при розробці алгоритму обчислення;
- розпаралелювання процесу обчислення;
- реалізації алгоритму обчислення суми квадратів різниць як єдиної макрооперації;
- модульності та регулярності;
- локалізації та зменшення кількості зв'язків між елементами ПЕ;
- програмованості архітектури шляхом використання репрограмованих ПЛІС.

Паралельний вертикально-груповий метод обчислення суми квадратів різниць. Паралельний вертикально-груповий метод обчислення суми квадратів різниць [5] вимагає, щоб кожний операнд був представлений у вигляді груп із k розрядів. При такому представлені операнди записуються так:

$$X_j = \sum_{i=1}^{n} 2^{-(i-1)} x_{ji} = \sum_{g=1}^{h} 2^{-(g-1)k} (x_{j[(g-1)k+1]} + 2^{-1} x_{j[(g-1)k+2]} + ... + 2^{-(k-1)} x_{j[(g-1)k+k]}), \quad (3)$$

де x_{ji} – значення i-го розряду j-го операнда; n – розрядність операнда, h – кількість груп, на які розбивається операнд.

Піднесення до квадрату є основною операцією обчислення суми квадратів різниць. Для виконання такої операції використаємо вертикальний алгоритм:

$$X^2 = (0.01) \wedge x_1 + 2^{-1}(0.x_1 01) \wedge x_2 + 2^{-2}(0.x_1 x_2 01) \wedge x_3 + ... + 2^{-(n-1)}(0.x_1 x_2 ... x_{n-1} 01) \wedge x_n = \sum_{i=1}^{n} 2^{-(i-1)} P_i, \quad (4)$$

де P_i – частковий результат піднесення до квадрату, який визначається так:

$$P_i = (0.x_1 x_2 ... x_{i-1} 01) \wedge x_i. \quad (5)$$

Розвитком розглянутого алгоритму [4] є формування для групи із k розрядів P_{Kg} групового часткового результату піднесення до квадрату:

$$P_{Kg} = P_{g1} + 2^{-1} P_{g2} + ... + 2^{-(k-1)} P_{gk} = \sum_{r=1}^{k} 2^{-(r-1)} P_{gr}, \quad (6)$$

де P_{gr} – частковий результат піднесення до квадрату.

Алгоритм піднесення до квадрату з використанням формування групових часткових результатів P_{Kg} записується так:

$$X^2 = \sum_{g=1}^{h} 2^{-(g-1)k} P_{Kg}. \quad (7)$$

Обчислення суми квадратів різниць будемо здійснювати на основі багатооперандного підходу, який полягає у одночасному опрацюванню всіх операндів і формуванні макрочасткового результату суми квадратів різниць [3]. Обчислення суми квадратів різниць будемо здійснювати за паралельним вертикально-груповим методом, який записується так:

$$\begin{aligned} y &= (X_1^e - X_1^b)^2 + (X_2^e - X_2^b)^2 + ... + (X_N^e - X_N^b)^2 = \Delta X_1^2 + \Delta X_2^2 + ... + \Delta X_N^2 = \\ &= \sum_{g=1}^{h} 2^{-(g-1)k} P_{1Kg} + ... + \sum_{g=1}^{h} 2^{-(g-1)k} P_{NKg} = \sum_{j=1}^{N} \sum_{g=1}^{h} 2^{(g-1)k} P_{jKg} \sum_{g=1}^{h} 2^{(g-1)k} \sum_{j=1}^{N} P_{jKg} = \sum_{g=1}^{h} 2^{(g-1)k} P_{Mg} \end{aligned}, \quad (8)$$

де N – кількість пар операндів, P_{Mg} – g-й макрочастковий результат суми квадратів різниць.

Основними етапами паралельного вертикально-групового методу обчислення суми квадратів різниць є:

- одночасне послідовно-групове надходження операндів X_i^e, X_i^b і обчислення модуля ΔX_i;
- обчислення групових часткових результатів піднесення до квадрату P_{jKg};
- обчислення макрочасткового результату суми квадратів різниць P_{Mg} шляхом паралельного підсумовування групових часткових результатів піднесення до квадрату P_{jKg};
- формування результату суми квадратів різниць шляхом послідовного підсумовування макрочасткових результатів обчислення P_{Mg} із зсувом вправо на k розрядів.

Структура пристрою паралельного вертикально-групового обчислення суми квадратів різниць. В залежності від способу формування та підсумовування макрочасткових результатів суми квадратів різниць P_{Mg} можливі такі варіанти реалізації пристою обчислення суми квадратів різниць:

- з послідовним формуванням і підсумовуванням P_{Mg};
- з паралельним формуванням і послідовним підсумовуванням P_{Mg};
- з паралельним формуванням і підсумовуванням P_{Mg}.

Розроблена структура компоненти обчисленням суми квадратів різниць з паралельним формуванням і послідовним підсумовуванням P_{Mg} наведена на рис.1, де Рг – регістр, БСмN – N-входовий суматор, См – суматор, БК – блок керування, ПЕ – процесорний елемент.

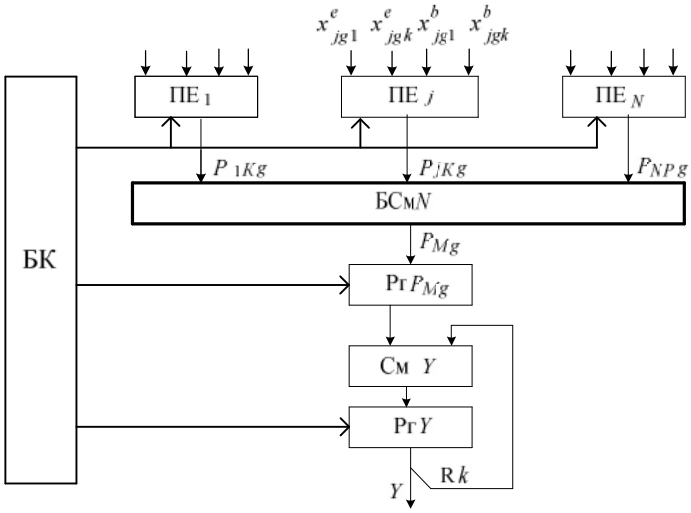


Рис. 1. Структура пристрою обчисленням суми квадратів різниць

Основними елементами даної структури є: ПЕ$_j$ – призначений для формування групових часткових результатів піднесення до квадрату P_{jKg}; БСмN – призначений для паралельного обчислення макрочасткового результату суми квадратів різниць P_{Mg}; СмY – забезпечує послідовне обчислення суми квадратів різниць за формулою:

$$Y_g = 2^{-k} Y_{g-1} + P_{Mg}\,, \tag{9}$$

де Y_0=0.

Структура ПЕ$_j$ наведена на рис. 2, де Від – віднімач, Тг – тригер, ПК – перетворювач паралельного коду у вертикально-груповий, ОМ$\left|\Delta X_j\right|$ – обчислювач модуля різниці, ФP_{rg} – формувач часткового результату піднесення до квадрату.

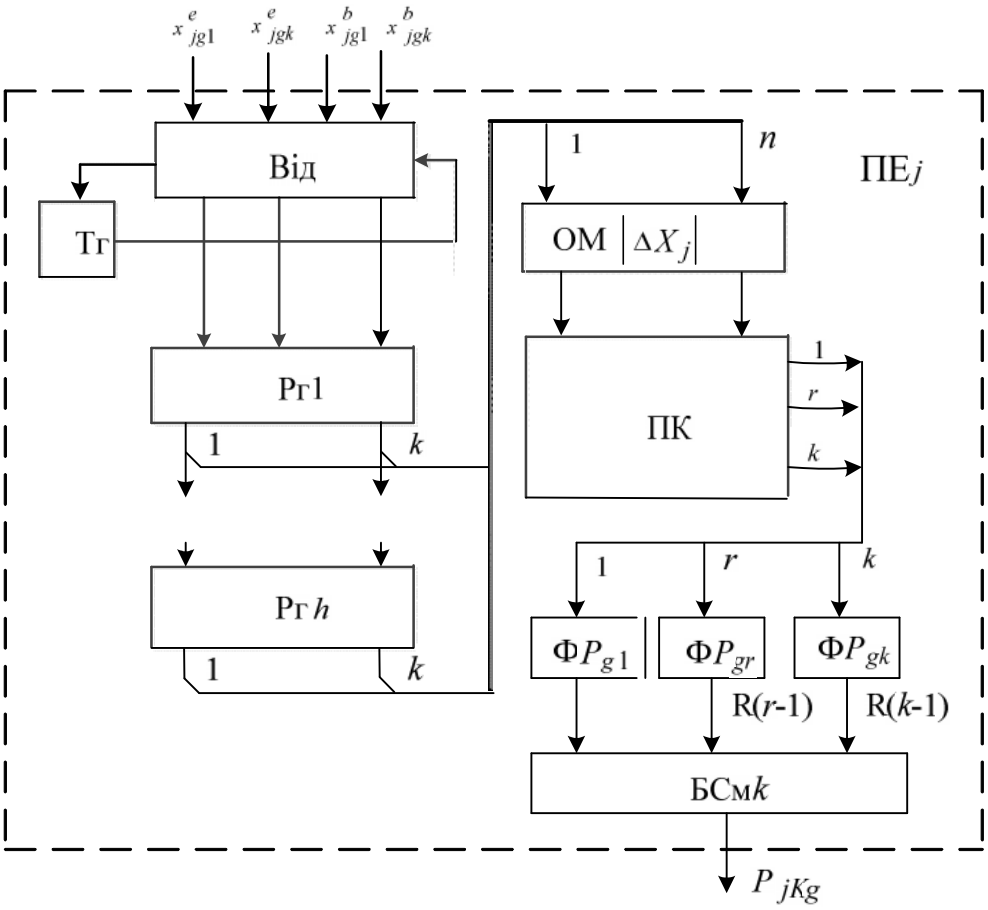


Рис. 2. Розроблена структура ПЕ

Надходження операндів X^e_j і X^b_j на вхід ПЕ$_j$ здійснюється послідовно [1,2]групами з k розрядів, починаючи з молодших розрядів. В кожному ПЕ$_j$ за допомогою віднімача Від за h тактів обчислюється різниця ΔX_j, яка записується в регістри Рг1,…,Ргh. Обчислена різниця ΔX_i надходить на входи обчислювача модуля ОМ$\left|\Delta X_j\right|$, на виході якого отримуємо її модуль $|\Delta X_j|$. У наступних тактах роботи на виходах формувачів ФP_{rg} отримуємо часткові результати піднесення до квадрату. Формування часткових результатів піднесення до квадрату P_{rg} здійснюється починаючи з старших розрядів модуля $|\Delta X_j|$ у відповідності до формули (5). Сформовані k часткових результатів піднесення до квадрату P_{rg} надходять із зсувом вправо на (r-1)-розряди на входи багатовходового суматора БСмk, де вони додаються. Отримана на виході багатовходового суматора БСмk сума є груповим частковим результатом піднесення до квадрату P_{jKg}. Групові часткові результати піднесення до квадрату P_{1Kg},…, R_{NKg} додаються з допомогою багатовходового суматора БСмN. Отримана сума, яка є макрочастковим результатом суми квадратів різниць P_{Mg}, записується у регістр РгP_{Mg}. На суматорі СмY у кожному такті виконується додавання результатів з виходу регістр РгP_{Mg} до раніше накопиченої суми з регістра РгY зсунутої на k розрядів вправо.

При використанні даних підходів процес підсумовування розглядається як виконання єдиної операції, що ґрунтується на базовій операції додавання значень бітів розрядного зрізу, тобто зводиться до вертикальної моделі обчислення:

$$Z = \sum_{i=1}^{n} 2^{-i} \sum_{j=1}^{M_i} C_{ji}\,, \tag{10}$$

де C_{ji} – значення розрядів; M_i – кількість доданків у i-у розрядному зрізі.

Існуючі вертикальні методи обчислення операції групового підсумовування зводять процес

обчислення до перетворення багаторядного коду в однорядний. Таке перетворення ґрунтується на базовій операції перетворення трирядного коду в дворядний:

$$\Sigma = \begin{cases} C_{(j-1)1} \ldots C_{(j-1)(n-1)} C_{(j-1)n} \\ + \\ C_{j1} \ldots C_{j(n-1)} C_{jn} \\ + \\ C_{(j+1)1} \ldots C_{(j+1)(n-1)} C_{(j+1)n} \end{cases} = \begin{cases} 0 S_1 \ldots S_{n-1} S_n \\ + \\ P_0 P_1 \ldots P_{n-1} 0 \end{cases}. \quad (11)$$

Перетворення трирядного коду в дворядний здійснюється за допомогою шару однорозрядних суматорів, що не мають зв'язків між собою. Для зменшення часу перетворення багаторядного коду в однорядний шари однорозрядних суматорів необхідно об'єднати за принципом дерева Уоллеса.

Для моделювання багатовходових суматорів використано програмне забезпечення ISE Design Suite 14.7. Розроблена на базі даного програмного забезпечення модель багатовходового суматора, яка наведена на рис.3.

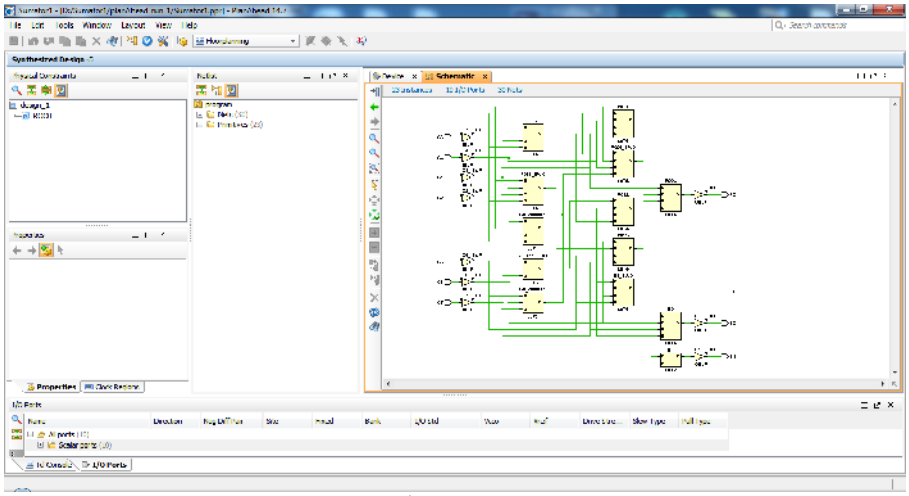


Рис. 3. Модель багатовходового суматора

В програмному продукті Xilinx було розроблено схему розміщення вхідних і вихідних портів на кристалі ПЛІС, дану схему показано на рис. 4 та рис. 5.

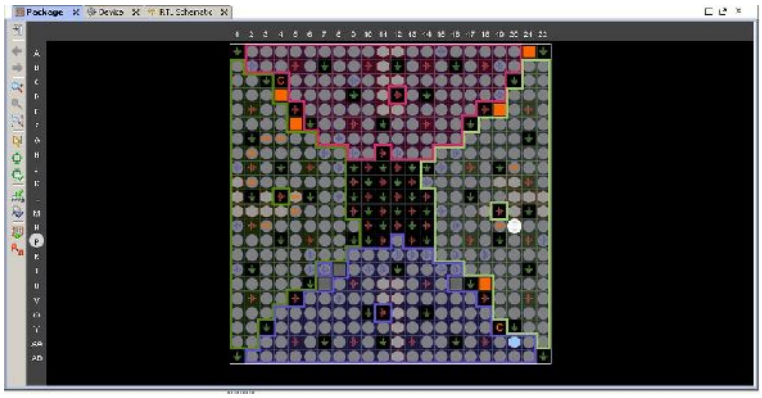


Рис. 4. Розміщення вхідних і вихідних портів на кристалі

All ports (10)											
Scalar ports (10)											
C1	Input		H2	☑	3	default (LVCMOS25)					NONE
C2	Input		K2	☑	3	default (LVCMOS25)					NONE
C3	Input		G3	☑	3	default (LVCMOS25)					NONE
C4	Input		M5	☑	3	default (LVCMOS25)					NONE
C5	Input		N3	☑	3	default (LVCMOS25)					NONE
C6	Input		L5	☑	3	default (LVCMOS25)					NONE
C7	Input		G4	☑	3	default (LVCMOS25)					NONE
P0	Output		J20	☑	1	default (LVCMOS25)	2.500		12	SLOW	NONE
S0	Output		N19	☑	1	default (LVCMOS25)	2.500		12	SLOW	NONE
S1	Output		N20	☑	1	default (LVCMOS25)	2.500		12	SLOW	NONE

Рис.5. Ініціалізація портів

Внутрішня будова даного пристрою на логічних елементах подана на рис. 6.

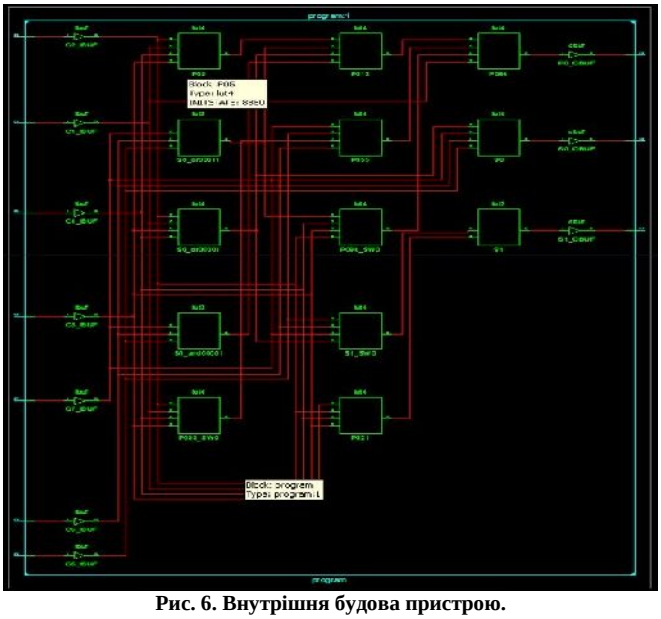


Рис. 6. Внутрішня будова пристрою.

Часова діаграма для перевірки коректності роботи пристрою подана на рисунку 7.

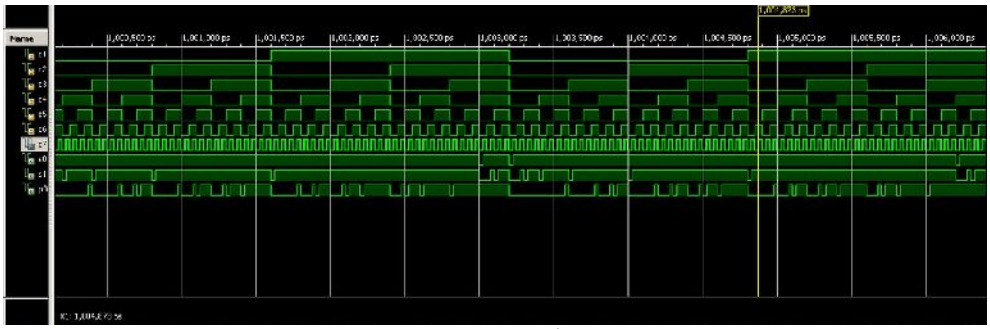


Рис. 7. Часова діаграма роботи пристрою

Особливістю роботи розробленого пристрою обчисленням суми квадратів різниць є суміщення у часі процесів введення даних одного масиву та обчислення другого. Використовуючи таке суміщення обчислення суми квадратів різниць у даному пристрої виконується за *h* тактів.

Висновки

Запропоновано розробку пристрою обчисленням суми квадратів різниць здійснювати за такими принципами: модульності, узгодження інтенсивності надходження даних з обчислювальною здатністю пристрою, конвеєризації та просторового паралелізму, локалізації та спрощення зв'язків між елементами.

Розроблено паралельний вертикально-груповий метод обчислення суми квадратів різниць, який використовує багатооперандний підхід та ґрунтується на операціях формування та підсумовування макрочасткових результатів, кількість яких визначається розрядністю груп надходження операндів.

Використано для реалізації пристрою обчисленням суми квадратів різниць паралельний вертикально-груповий метод обчислення та базис елементарних арифметичних операцій, що забезпечило збільшення швидкодії, зменшення апаратних затрат і орієнтацію на НВІС реалізацію.

Показано, що підвищення ефективності НВІС-структур обчислення суми квадратів різниць можна досягнути роздільним або комплексним використанням методів, які забезпечують зменшення часу формування та підсумовування макрочасткових результатів.

Література

Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / Круглов В.В., Борисов В.В. – 2-е изд., стереотип. – М. : Горячая линия-Телеком, 2002. – 382 с.

Рашкевич Ю.М. Нейроподібні методи, алґоритми та структури обробки сигналів і зображень у реальному часі : монографія / Ю.М. Рашкевич, Р.О. Ткаченко, І.Г. Цмоць, Д.Д. Пелешко – Львів, 2014. – 256 с.

Цмоць І.Г. Інформаційні технології та спеціалізовані засоби обробки сигналів і зображень у реальному часі. – Львів: УАД. – 2005. – 227 с.

Цмоць І. Г. Реалізація на ПЛІС FPGA компонентів апаратних нейромереж / І.Г. Афанасьєв, В.Г.

Рабик, О.В. Скорохода // VIII Українсько-польська науково-практична конференція „Електроніка та інформаційні технології”: Збірник матеріалів 27 серпня – 30 серпня 2016 р. – Львів – Чинадієво: Видавн. центр Львів. нац. універ. ім. І. Франка, 2016. – С. 122–126.

Цмоць І. Г., Ігнатєв І. В. Модифікований метод групового підсумовування та його реалізація на ПЛІС SPARTAN 3A. / І. Г. Цмоць, І. В. Ігнатєв // Збірник наукових праць міжнародної наукової конференції “Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту ISDMCI’2017”. Залізний Порт, 2017. –С. 162–164.

Tsmots Ivan, Skorokhoda Oleksa, Ignatyev Ihor, Rabyk Vasyl. Basic Vertical-Parallel Real Time Neural Network Components. / I. Tsmots, S Skorokhoda, I Ignatyev, V. Rabyk // Proceedings of XIIth International Scientific and Technical Conference CSIT 2017. 5-8 September 2017. Lviv, Ukraine – Pp.344-347.

References

Kruhlov V.V., Borysov V.V. Yskusstvennye neyronnye sety. Teoryya y praktyka. - 2-e yzd., Stereotyp. - M.: Horyachaya lynyya-Telekom, 2002. - 382 s.

Rashkevych YU.M. Neyropodibni metody, alhorytmy ta struktury obrobky syhnaliv ta zobrazhen′ u real′nomu chasi / YU.M. Rashkevych, R.O. Tkachenko, I.H. Tsmots′, D.D. Peleshko: Monohrafiya - L′viv: 2014. – 256 s.

Tsmots′ I.H. Informatsiyni tekhnolohiyi ta spetsializovani zasoby obrobky syhnaliv ta zobrazhen′ v real′nomu chasi. - L′viv: UAD. - 2005. - 227 s.

Tsmots′ I. H. Realizatsiya na PLIS FPGA komponentiv aparatnykh neyromerezh / I.H. Afanas′yev, V.H. Rabyk, O.V. Skorokhoda // VIII Ukrayins′ko-pol′s′ka naukovo-praktychna konferentsiya "Elektronika ta informatsiyni tekhnolohiyi": Zbirnyk materialiv, 27 serpnya - 30 serpnya 2016 r. - L′viv - Chynadiyevo: Vydavn. tsentr L′viv. nats. univer im. I. Franka, 2016. - S. 122-126.

Tsmots′ I. H., Ihnatyev I. V. Modyfikovanyy metod hrupovoho pidsumovuvannya ta yoho realizatsiya na PLIS SPARTAN 3A. / I. H. Tsmots′, I. V. Ihnatyev // Zbirnyk naukovykh prats′ mizhnarodnoyi naukovoyi konferentsiyi "Intelektual′ni systemy pryynyattya rishen′ ta problemy obchyslyuval′noyi intelektu ISDMCI′2017". Zaliznyy Port, 2017. – S. 162-164.

Tsmots Ivan, Skorokhoda Oleksa, Ignatyev Ihor, Rabyk Vasyl. Basic Vertical-Parallel Real Time Neural Network Components / I. Tsmots, S. Skorokhoda, I. Ignatyev, V. Rabyk // Proceedings of XIIth International Scientific and Technical Conference CSIT 2017. 5-8 September 2017. Lviv, Ukraine – P. 344-347.

Отримана/Received : 6.2.2018 р. Надрукована/Printed :26.3.2018 р.
Рецензент: к.т.н., доц. Якименко І. З.

УДК 004.773.2

З.Д. ГОЛУБ
Національний університет «Львівська політехніка»

СТРУКТУРА СЛОВНИКА МАРКЕРІВ ЛЕКСИЧНИХ ЗМІННИХ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ПСИХОЛОГІЧНИХ МАНІПУЛЯЦІЙ

У статті визначено класи лексичних зміни на основі лексико-семантичних та морфологічних ознак. Описано типи відношень між підкласами та елементами підкласів лексичних змінних. Зображено структуру класів та внутрішньокласові зв'язки між елементами. Продемонстровано наповнення словника маркерів інформаційно-психологічної маніпуляції на основі формалізації прийому та відношень між семантичними змінними.

Ключові слова: семантична змінна, інформаційно-психологічна маніпуляція, варіант реалізації прийому ІПМ.

Z. HOLUB
Lviv Polytechnic National University

STRUCTURE OF DICTIONARY OF LEXICAL VARIABLES MARKERS USED FOR DETECTING INFORMATIONAL AND PSYCHOLOGIC MANIPULATION

The paper presents the new approach to solving the topical problem of detecting informational and psychologic manipulation (IPM) in online communities. IPM is a frequent phenomenon in discussions of online communities. IPM is deliberate influence of an individual on consciousness of others by means of informational space constituents and mechanisms of informational influence targeted at aims advantageous for one party. IPM is a great threat to efficiency of informational activities of participants in particular and popularity of an online community as a whole. The paper elaborates the algorithm for detecting IPM on the basis of piecewise linear aggregate. The IPM detection process lies in detecting IPM tools in participants' utterances and further identification of IPM tactics on the basis of strictly specified sequence of IPM tools. An IPM tool is detected if the marker of an IPM tool is spotted. The latter constitutes of text elements (verbal, nonverbal and metagraphemical). Tools markers are constructed taking into consideration peculiarities of syntactic structure, lexical units and speech acts exploited in text realizations of an IPM tool. The element of the formal model of IPM tool, namely semantic variables, is detailed. Semantic variables contain generalized information about semantic content of a sentence. Semantic variable is an element of lexical content of an utterance which varies depending on discourse, style, discussion topic and belongs to the certain class of notions. Semantic variables are organized into three classes, notions, predicates and characteristics on the basis of their lexical, semantical and morphological features. The structure and intra-class and inter-class relation is depicted. The peculiarities of each class are emphasized. Creating the voluminous dictionary of IPM tool markers on the basis of a formalized IPM tool and the net of relation between the subclasses is presented.

Key words: semantic variable, informational and psychologic manipulation, variant of IPM tool realization.

Вступ

Інформаційно-психологічна маніпуляція (ІПМ) є частим явищем у обговореннях онлайн-спільнот. Інформаційно-психологічна маніпуляція – це цілеспрямований вплив однієї людини на підсвідомість інших людей за допомогою компонент інформаційного простору та механізмів психологічного впливу з односторонньо вигідною метою. ІПМ становить загрозу для безпечної і ефективної інформаційної діяльності учасників онлайн-спільнот. Кількість прецедентів ІПМ в онлайн-спільноті прямо пропорційна кількості відвідувачів спільноти та обсягу створеного користувачами інформаційного наповнення. Інакше кажучи популярні і інформативні спільноти найчастіше стають майданчиками для ІПМ, як наслідок їхня численна аудиторія є потенційними жертвами впливу ІПМ.Така ситуація може мати негативні наслідки не лише для учасників, а й може спричинити депопуляризацію та занепад спільноти. Саме тому, зроблення ефективних методів і засобів виявлення ІПМ є актуальним для модераторів, власників та учасників онлайн-спільнот.

Постановка проблеми

У попередніх дослідженнях описано алгоритм засобу виявлення ІПМ, який складається з чотирьох етапів. Другий етап полягає у виявленні уривків, які можуть містити ІПМ та виявленні прецедентів ІПМ[1]. Виявлення останніх здійснюється на основі формальної моделі тактики ІПМ реалізованої за допомогою кусково-лінійних агрегатів [2, 3]. Процес полягає у виявленні прийомів ІПМ у висловленнях учасників форуму та подальшій ідентифікації тактики ІПМ на основі чітко визначеної послідовності прийомів. Виявлення прийомів проходить на основі маркерів, які складаються з текстових елементів (вербальних, невербальних та метаграфічних). Маркери прийомів побудовані на особливостях синтаксичної структури, лексики та мовленнєвих актах присутніх у текстових реалізаціях ІПМ. Для лексики, яка є індикатором ІПМ виділено семантичні змінні [4]. Як наслідок постало завдання об'єднання семантичних змінних у класи та визначення ознак класів, які б відображалися текстовими засобами.

Аналіз останніх досліджень

Аналіз інформаційного наповнення онлайн-спільнот з метою отримання різного роду інформації, як про автора, так і саме повідомлення є актуальним напрямом досліджень. Наукові дослідження зосереджено над проблемами виявлення фейкових акаунтів, демографічних характеристик користувачів та встановленням інтеракційних закономірностей і візуалізацією взаємин. Аналізу наповнення повідомлень користувачів присвячено праці з інтент-аналізу [5], аналізу тональності тексту [6], виявлення суджень [7], виявлення споживацького досвіду [8]. Також ведуться дослідження спрямовані на безпеку та захист прав

суб'єктів, які беруть участь в інформаційних процесах. Результатами цих досліджень є алгоритми, методи та програмні засоби для виявлення неправдивої інформації та таких деструктивних явищ як флейм та тролінг [9, 10].

Результати вище зазначених досліджень не дають змогу вирішити проблему ІПМ в онлайн-спільнотах. Автоматичні засоби виявлення неправдивої інформації ґрунтуються на заповнюваних експертами базах даних неавторитетних джерел чи на експертній оцінці. Тому ці засоби ефективні для моніторингу обговорень на популярні теми та виявлення рецедивів ІПМ. Виявлення тролінгу і флейму базуються на пошуку певного виду слів, а саме ненормативної лексики, емоційно насичених слів. Цих видів лексики не достатньо для побудови маркерів ІПМ. Система маркерів суджень та споживацького досвіду не підходять для вирішення проблеми ІПМ, адже передбачають чітко вказану тематику пошуку, в той же час як ефективна система маркерів ІПМ має бути універсальною.

Основний матеріал

Інформаційно-психологічна маніпуляція становить загрозу для інформаційної діяльності учасника онлайн-спільнот. З метою підвищення ефективності виявлення ІПМ в онлайн-спільнотах розроблено математичну модель прийому ІПМ як складової частини тактики маніпуляції. Ця модель складається з синтаксичної структури, мовних актів та семантичних змінних [4]. Семантична змінна (1) містить узагальнену інформацію про семантичне наповнення речення, наприклад про наявність у висловленні звернень до адресата, вказування приналежності до групи чи директиви.

Семантична змінна (СЗ) – це частина лексичного наповнення висловлення, яка варіює залежно від дискурсу, стилю, теми обговорення, але належить до одного класу понять.

$$SemanticVariable_i = \left\{SemanticVariable_{ij}\right\}_{j=1}^{N^{(SemanticVariable_i)}}, \quad (1)$$

де $SemanticVariable_i$ — семантична змінна, яка може бути в прийомі ІПМ; $N^{SemanticVariable_i}$ — кількість семантичних змінних, які можуть бути в прийомі.

Система класів СЗ розроблена на основі лексико-семантичних та морфологічних ознак мовних одиниць. Підкласи лексем, виділені на основі семантичних характеристик, пов'язані з відповідними формами вираження, які, в свою чергу, погруповані за морфологічними характеристиками. Виділено наступні три базові класи: сутність, предикат, характеристики. Службові частини мови не можуть бути СЗ, вони використовуються для визначення Синтаксичної структури висловлення [4].

До класу Сутність належать іменники або сталі іменникові вирази. Клас сутностей має ієрархічну структуру і складається з багатьох підпорядкованих підкласів. Семи назв найвищих підкласів містять всі елементи цих підкласів. Клас сутності поділяється на 25 підкласів, а саме Причина, Простір, Група, Почуття, Подія (те, що відбувається), Їжа, Спілкування, Розумова діяльність, Властивість, Тіло/Корпус, Продукт, Тварина, Діяльність, Природній об'єкт, Явище природи, Людина, Рослина, Власність, Процес, Кількість, Відношення, Форма, Стан, Речовина, Час. Структуру класу сутностей можна зобразити як дерево, коренем якого є клас. Це дерево має обмежену глибину, більшість його листків знаходяться не далі 10-го рівня. На рис. 1 зображено дерево коренем, якого є один з 25-и підкласів класу Сутність.

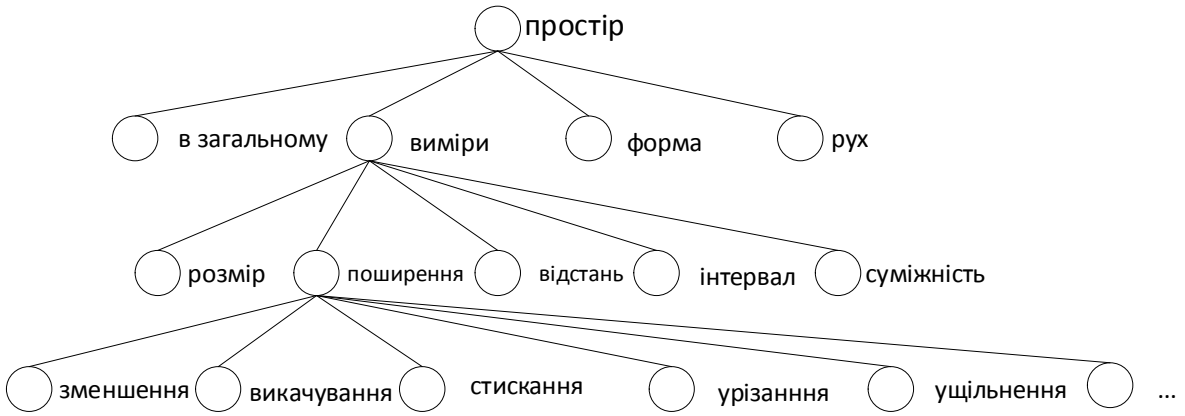


Рис. 1. Структура підкласу сутностей «простір»

Кожен з підкласів вирізняється на основі характерних особливостей, і ці особливості притаманні всім його дочірнім підкласам. Класифікацію здійснено за такими характерними ознаками: зміни морфологічної будови під час відмінювання, вживання частини в значенні цілого (меронімії), родо-видових відношень (гіперо-гіпонімії) та предикації (віднесення семантики сутності до семантики предиката). Додатково встановлено зв'язки між антонімами, але вони не є характерними ознаками.

До класу Характеристики входять прикметника та прислівники. Підкласи класу Характеристики виділені на основі відношень антонімії, наприклад, сильний – слабкий, також вони пов'язані за семантичною близкістю, наприклад сильний пов'язаний з міцний, дужий. Семантично близькі характеристики є опосередкованими антонімами групи прикметників та прислівників близьких за значенням

до антоніма характеристик. Цей тип організації має вигляд кластерів (рис. 2). Крім того, характеристики мати зв'язки і з іншими частинами мови, наприклад: похідні прикметники пов'язані з частинами мови, від яких вони походять, наприклад, змістовний – зміст.

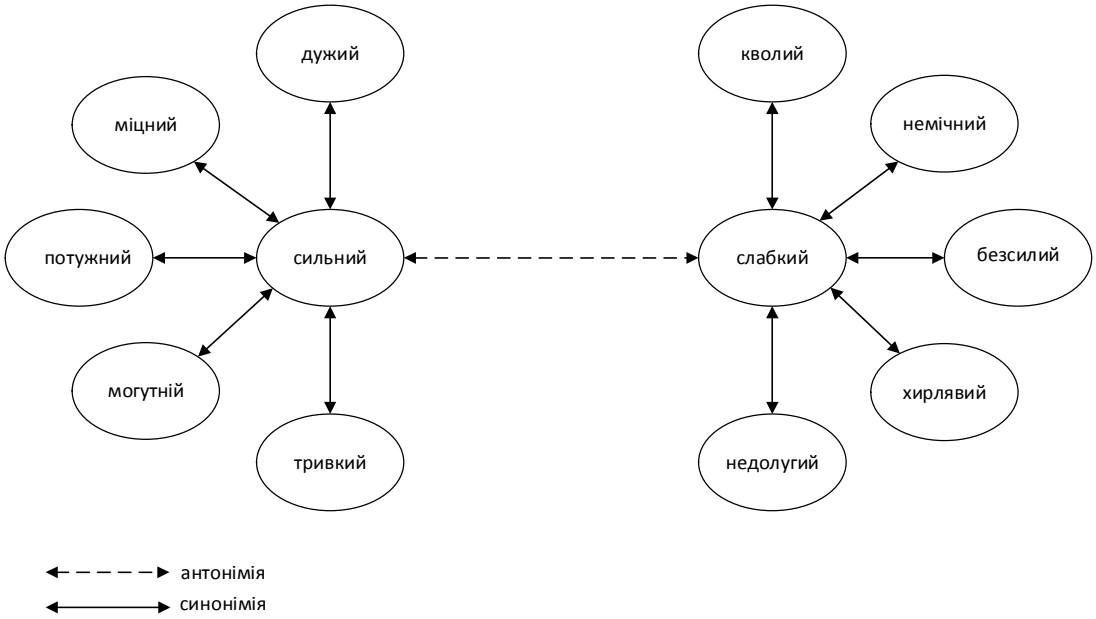


Рис. 2. Кластерна структура класу «Характеристики»

Основні підкласи класу Предикати є наступні: статичні (бути, мати, просторові відношення т.д.), соціальні (політичні і соціальні види діяльності, події), володіння власністю (купити, продати і т.д.), сприйняття (бачити, чути і т.д.), почуттів (сумувати, радіти і т.д.), спілкування (розповідати, наказувати і т.д.), мисленнєві (думки, сумніватись), зміни (розміру, інтенсивності і т.д.), створення (малювати, виконувати і т.д.), контакту (доторкатись, зав'язувати і т.д.), руху (ходити, літати), споживання (їсти, пити і т.д.), змагання (боротись, спортивна діяльність), метеорологічні (гримить, іде дощ і т.д.).

Класи Предикати має структури логічного наслідку. Предикати також пов'язані за допомогою антонімії та синонімії. Типом зв'язку характерним лише для предикатів є тропонімія. Тропонім – це лексема, яка означає спосіб виконання певної дії, наприклад, базікати це тропонім лексеми говорити. Крім того, предикати можуть вступати в зв'язок лінгвістичної імплікації. Лінгвістична імплікація полягає в тому, що з вживання одного слова можна зробити додаткові висновки. Наприклад, між словами сьорбати і пити є зв'язок лінгвістичної імплікації, адже, якщо суб'єкт сьорбає, то значить він п'є. Якщо семема А є істинною, то лексичне значення В є також істинним.

Міжкласові та позакласові відношення (табл. 1), в які вступають лексеми, характеризуються ознаками симетричності, транзитивності та рефлексивності.

Таблиця 1

Відношення між підкласами та елементами класів СЗ

Відношення	Означення	Ознаки
Гіперонімія	є родовим поняттям до референта.	транзитивне
Гіпонімія	є видовим поняттям до референта	транзитивне
Меронімія	є частиною референта	транзитивне
Голонімія	містить референта як частину від цілого	транзитивне
Тропонімія	є специфічним способом виконання певної дії	транзитивне
Сурядність	має спільний гіпернім з референтом	симетричне і рефлексивне
Синонімія	має однакове лексичне значення з референтом	симетричне і рефлексивне
Антонімія	має протилежне лексичне значення до референта	симетричне

Прийоми ІПМ виявляють на основі маркерів варіантів реалізації прийомів ІПМ поданих у нотації Бекуса-Наура [11]. Ці маркери створені на основі опису тактик і прийомів традиційної маніпуляції [12, 13, 14] та на основі прецедентів ІПМ виявлених у обговорення онлайн спільнот [15]. На початку створення словників маркерів прийомів ІПМ, кожному прийому відповідає одна реалізація (взята з джерела, де було описано прийом або з реальної дискусії). Від кількості варіантів реалізації прийомів ІПМ наявних у словнику маркерів залежить ефективність системи виявлення ІПМ. Оскільки створювати всі можливі реалізації прийомів вручну часозатратно, то використовуючи інформацію про зв'язки між лексемами у підкласах СЗ можна створити як узагальнений формат запису конкретного прийому, так і велику кількість варіантів реалізації цього прийому. Таким чином встановивши зв'язки між СЗ можна генерувати з одного

варіанта реалізації прийому інші варіанти автоматично, що значно підвищує ефективність системи.

Нижче наведено приклад реалізації прийому «отруєння джерела» виявлено в коментарях Facebooky групі «Людоньки порадьте» (ім'я користувача видалено): «*Запитаємо NameSurname, надіюсь цього разу його передбачення будуть успішнішими*»

Таблиця 2

Семантичні змінні прийому «отруєння джерела»

Підкласи СЗ	Мовна реалізація	Слова вжиті в прецеденті
Людина (Сутність)	SemanticVariable::=<власна назва>	NameSurname
Мисленнєв.(Пред.)	SemanticVariable::=<дієслово підкласу Сподівання>	надіюсь
Зміни (Пред.)	SemanticVariable::=<дієслово підкласу Зміна стану>	будуть успішнішими

Висновки

Виділення класів СЗ на основі лексико-семантичних та лексичних ознак дозволяє встановити певну відповідність між формою вираження та семантикою лексичних одиниць, яка є необхідною для автоматизації виконання завдань пов'язаних з аналізом мови. Оскільки прийом ІПМ можна здійснити за допомогою різних мовних засобів, ефективність виявлення цих прийомів залежить від кількості варіантів реалізації прийомів ІПМ, які містить словник. Наповнити достатньою кількість варіантів реалізації словник вручну – часозатратно, тому можливість згенерувати варіанти реалізації на основі одного варіанта та мережі зв'язків між лексемами значно підвищить ефективність системи виявлення ІПМ в онлайн-спільнотах.

Література

1. Pełeszczyszyn A. Development of the system for detecting manipulation in online discussions / A. Pełeszczyszyn, Z. Holub // Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC). – 2017. – Volume 543. – С. 111–117.
2. Peleschyshyn A. Methods of Real-Time Detecting Manipulation in Online Communities / I. Holub, Z. Holub // Materials of CSIT 2016. – Lviv, Ukraine: Lviv Polytechnic Publishing House, 2016. – P. 15–17.
3. Голуб З.Д. Моделюванняманіпулятивноїтактикизадопомогоюкусково-лінійногоагрегата / З.Д. Голуб, А.М. Пелещишин // Інформація, комунікація, суспільство 2016 : матеріали 5-ї міжнародної науково-практичної конференції «Інформація, комунікація, суспільство 2016». – Львів-Славське, 2016. – С. 80–81.
4. Голуб З.Д. Формалізація прийомів інформаційно-психологічної маніпуляції / З.Д. Голуб // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 55–61.
5. Ушакова Т.Н. Психолингвистика / Т. Н. Ушакова, И. В. Королева, В. И. Лубовский и др. – М. : ПЕР СЭ, 2006. – 416 с.
6. Case Study: Advanced Sentiment Analysis. URL: chrome-extension://padcapdkhelngdelppbbjmkmkfceoikg/content/pdf/viewer/viewer.html?file=http%3A%2F%2Fwww.aclweb.org%2Fanthology%2FW04-2328 (last access: 15.03.17). – Title from the screen.
7. Dey L. Opinion Mining from Noisy Text Data / L. Dey, S. K. Haque, A. Mirajul // Proceedings of the second workshop on Analytics for noisy unstructured text data – 2008. – P. 83–90.
8. Тимовчак-Максимець О. Ю. Методи використання розширених можливостей глобальних пошукових систем в задачі пошуку споживацького досвіду в онлайн середовищах / О. Ю. Тимовчак-Максимець // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". - 2011. – № 715. – С. 333–342.
9. B.S. Detector. URL: https://chrome.google.com/webstore/detail/bs-detector/dlcgkekjiopopabcifhebmphmfmdbjod (last access: 15.03.17). – Title from the screen.
10. Fake News Alert. URL: https://chrome.google.com/webstore/detail/fake-news-alert/aickfmgnhocegpdbfnpfnedpeionfkbh (last access: 15.03.17). – Title from the screen.
11. Peleschyshyn A., Holub Z., Holub I., "Formal Model and Key Features of an Online Community Fundamental for Detecting Informational and Psychological Manipulation" Scientific and Technical Conference "Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 2017 XIth International. IEEE. – P. 101–104.
12. Berne E. Games People Play – The Basic Hand Book of Transactional Analysis / E. Berne – New York : Ballantine Books, 1964. – 81 p.
13. .Шейнов В. П. Скрытое управление человеком / В. П. Шейнов – Минск : «Издательство АСТ», 2002. – 848 с.
14. Доценко Е. Л. Психология манипуляции / Е. Л. Доценко. – Москва : ЧеРо, 2001. – 344 с.
15. Пелещищин А. Виявлення маніпуляції щодо потенційних покупців в онлайн-спільноті / А. Пелещищин, З. Голуб // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції ISRDT-2016. – Львів : Видавництво : "Редакція "УП", 2016. – С. 58–59.

References

1. Pełeszczyszyn A., Holub Z. Development Of The System For Detecting Manipulation In Online Discussions // Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC). – 2017. – Volume 543. – С. 111-117.

2. Peleschyshyn A. Methods of Real-Time Detecting Manipulation in Online Communities / I. Holub, Z. Holub // Materials of CSIT 2016. Lviv, Ukraine: Lviv Polytechnic Publishing House, 2016. P. 15-17.

3. HolubZ.D. Modeling a manipulative tactic by means of piece wise-linear aggregate/ HolubZ.D., PeleschyshynA.M. // Information, communication, society 2016: materials of the 5th interational scientific and practical conference «Information, communication, society 2016». – Lviv-Slavske, 2016. – pp. 80-81.

4. Holub Z.D. Formalizationof informational and psychologic manipulation tools / Z.D. Holub // Bulletin of National Technical University "KHPI". Digest of scientific studies. Part: New solutions in modern technologies. – Kharkiv : NTU"KHPI". – 2017. – № 32 (1254). – pp. 55-61

5. Ushakova T.N. Psiholingvistika / T. N. Ushakova, I. V. Koroleva, V. I. Lubovskiyidr. – M. : PERSE, 2006. – 416 s.

6. Case Study: Advanced Sentiment Analysis [Electronic resource]. – Access mode: chrome-extension://padcapdkhelngdelppbbjmkmkfceoikg/content/pdf/viewer/viewer.html?file=http%3A%2F%2Fwww.aclweb.org%2Fanthology%2FW04-2328 (last access: 15.03.17). – Title from the screen.

7. Dey L. Opinion Mining from Noisy Text Data / L. Dey, S. K. Haque, A. Mirajul // Proceedings of the second workshop on Analytics for noisy unstructured text data – 2008. – p.83-90.

8. Tymovchak-Maksymets O. Yu. Methods of using extended features of global search systems to solve the task of finding consumer experiences in online environments / O. Yu. Tymovchak-Maksymets // Bulletinof Lviv Polytechnic National University. - 2011. - № 715. - pp. 333-342.

9. B.S. Detector [Electronic resource]. – Access mode: https://chrome.google.com/webstore/detail/bs-detector/dlcgkekjiopopabcifhebmphmfmdbjod (last access: 15.03.17). – Title from the screen.

10. Fake News Alert [Electronic resource]. – Access mode: https://chrome.google.com/webstore/detail/fake-news-alert/aickfmgnhocegpdbfnpfnedpeionfkbh (last access: 15.03.17). – Title from the screen.

11. Peleschyshyn, Z. Holub, and I. Holub, "Formal Model and Key Features of an Online Community Fundamental for Detecting Informational and Psychological Manipulation" Scientific and Technical Conference "Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 2017 XIth International. IEEE. – 101-104 pp

12. Berne E. Games People Play – The Basic Hand Book of Transactional Analysis / E. Berne – New York: Ballantine Books. – 1964. –81p.

13. .ScheinovV. P. Ulterior control of an individual / V. P. Scheinov – Minsk. : «ACT Publishing house». – 2002. – 848 p.

14. Dotsenko E. L. Psychology of manipulation / E. Л. Dotsenko. Moscow: – CheRo, 2001. – 344p.

15. Scheinov A., Holub Z. Detecting manipulation directed at potential buyers in an online-community / A. Peleschyshyn, Z. Holub // Proceedings of International scientific and practical conference ISRDT-2016. Lviv: Publishing House "Editor "UP" , 2016. – p. 58-59.

Отримана/Received : 13.2.2018 р. Надрукована/Printed :26.3.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Пелещишин А.М.

UDC 621

ELSAYED A. ELNASHAR
Kafrelsheikh University, Egypt
BOYAN KUVANDJIEV, ANTOANETA DIMITROVA, ZLATIN ZLATEV
Trakia University, Bulgaria

IMPROVING POWER FACTOR OF THREE-PHASE ASYNCHRONOUS MOTOR THROUGH CAPACITOR BANKS CONTROLLED WITH PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER

Among the possible ways to improve the energy efficiency of three-phase asynchronous electric motors is to reduce the cost of electricity due to its more complete utilization and loss reduction. For this reason, manufacturers of electrical equipment are making more efforts to improve the efficiency of electricity in order that less of it to waste or unnecessary to provide the consumer without work. This problem is well known and therefore the improvement of the power factor or cosφ is among the main tasks of the power generators and electrical equipment manufacturers. One of the more common methods of power factor improvement is passive, using capacitor banks. In recent years there has been a demand for new methods of control of these capacitor banks. Systems are developed with microprocessor control, specialized controllers and using programmable logic controllers. In the present work is proposed an electric circuit, operating circuit and software, presented in the form of algorithm for control of capacitor banks with programmable logic controller.

Keywords: power factor, capacitor banks, programmable logic controller.

Е. А. ЕЛЬНАШАР
Університет Кафрельшейх, Египет
Б. КУВАНДІЄВ, А. ДІМІТРОВА, З. ЗЛАТЕВ
Фракийский університет, Болгарія

ПОКРАЩЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ПОТУЖНОСТІ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО МОТОРУ ЗАВДЯКИ КОНДЕНСАТОРНИМ БАТАРЕЯМ, ЩО КОНТРОЛЮЮТЬСЯ ПРОГРАМНИМ ЛОГІЧНИМ КОНТРОЛЕРОМ

Серед можливих шляхів підвищення енергоефективності трифазних асинхронних електродвигунів є зниження вартості електроенергії завдяки повному її використанню та зменшенню втрат. З цієї причини виробники електрообладнання докладають більших зусиль для підвищення ефективності роботи електроенергії через зменшення втрат потужності. Ця проблема добре відома, і тому поліпшення коефіцієнта потужності є одним з головних завдань виробників електроенергії та виробників електрообладнання. Одним з найбільш поширених методів підвищення коефіцієнта потужності є пасивне використання конденсаторних батарей. Останніми роками існує попит на нові методи контролю цих конденсаторних батарей. Системи розробляються за допомогою мікропроцесорного керування, спеціалізованих контролерів та програмованих логічних контролерів. У роботі пропонується електрична схема, схема управління та програмне забезпечення, представлені у вигляді алгоритму управління конденсаторними батареями з програмованим логічним контролером.

Ключові слова: коефіцієнт потужності, конденсаторні батареї, програмований логічний контролер.

Introduction

Increasing energy efficiency by reducing energy costs is one of the ways not only to increase the competitiveness of enterprises but also to increase their environmental performance [1, 2, 8]. Among the possible ways to achieve this goal is to reduce the cost of electricity by making it more efficient and limiting losses. For this reason, manufacturers of electrical equipment are making more efforts to improve the efficiency of electricity in order that less of it to waste or unnecessary to provide the consumer without work. This problem is well known, and thus improving the power factor or cosφ is among the main tasks of the power engineers and manufacturers of electrical equipment. It is known that bringing cosφ to one leads to energy savings.

Not less is the problem of losses due to the non-sinusoidal shape of the current of the consumers, which imposes in the requirements for quality of the supplied electricity to the value of the voltage and the frequency to add the maximum closeness of its shape to the sinusoid [6, 7, 9].

Three-phase asynchronous motors are one of the largest electricity consumers in the industry, which determines the need for individual solutions related to improving their efficiency [2, 10]. One of the more common methods of power factor improvement is passive, using capacitor banks. In recent years there has been a demand for new methods of control of these capacitor banks. Systems with microprocessor control, specialized controllers and using programmable logic controllers are developed [3, 4, 8].

The purpose of this work is to design a capacitor banks control system with a programmable logic controller.

Material and methods

Selection of an electric motor. For the purpose of the study, a three-phase asynchronous electric motor (EM) with the parameters listed in Table 1 is used. Low Efficiency EMs were used to demonstrate the power factor correction capabilities.

In addition to the parameters given on the manufacturer's nameplate, we will make additional measurements for the following parameters: Resistance of windings; inductance of windings; resistance of the windings to the housing.

Table 1

Parameters of electrical motor

Nominal power	30KW
Frequency	50Hz
Supply voltage	380V
Current	54A
Rpm	2920rpm
Cosφ	0,84
Stator poles	2

For the measurement, we use the V & A MS8201H DMM multimeter, making a duplicate measurement with another multimeter in order to reduce the possibility of a measurement error. The measurement data obtained are shown in Table 2. The second measurement confirms the received data with minor differences.

Table 2

Measured parameters

Winding	Resistance R	Inductivity L	Resistance winding-housing
L1	0,6 Ω	4,5 mH	1,5MΩ
L2	0,6 Ω	4,6 mH	1,4 MΩ
L3	0,6 Ω	4,4 mH	1,6 MΩ

Determination of the power factor against the load of the electric motor. The simulation model used is presented in [10]. Figure 1 shows a diagram of the variation of the power factor of the electric motor depending on its load.

Determining the current of the motor depending on the load. For the determination of the motor load will use a method in which the measured current of one of the phases will determine the motor load by formula (1). We assume that the load of the three phases is symmetrical.

$$I = \frac{P}{V.\cos\varphi.\sqrt{3}} \quad (1)$$

Where P is the power (load), U is the voltage, I is the current, cosφ the power factor for the respective load.

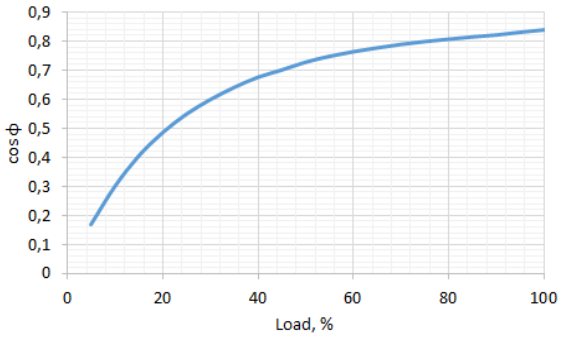


Fig. 1. Power factor versus electrical motor load

Determination of the capacitor banks power to adjust the power factor. We assume that the shape of current and voltage are sinusoidal, whereby the power factor is fully determined by cosφ. As the average power factor we are going to target, we assign cosφ=0,95. As the boundaries between which cosφ can vary – from 0,90 to 1,00, and in order to ensure the inevitable inaccuracies and errors we will narrow the cosφ limits from 0,91 to 0,99.

Determining the required power of the capacitor batteries measured in KVAR can be done in several ways. Here is a prepared table published in [2]. The data in this table are obtained using formulas (2) and (3).

$$\varphi_1 = \mathrm{Cos}^{-1}(\mathrm{Cos}\ \varphi_1) \quad (2)$$

$$kVAR = P\ (Tan\ \varphi_1 - Tan\ \varphi_2) \quad (3)$$

Where cosφ1 is the original power factor, cos φ2 is the desired power factor, P power of the motor in KW, KVAR is the required capacitance of the capacitor bank. The capacity of the capacitor bank in F is obtained by Formula (4).

$$C = kVAR / (2\ \pi\ f\ V^2) \quad (4)$$

Where C is the capacity of the capacitor bank in microfarade, the KVAR capacitance of the capacitor bank, f is the frequency in Hertz, V is the voltage in volts.

Selection of capacitor banks. Selected capacitor banks with power 10KVAR, model BZMJ 0.4-10-3 of manufacturer SEMO their main parameters are presented in Table 3.

Table 3

Parameters of capacitor banks

Nominal voltage	400 V
Nominal power	10 KVAR
Nominal frequency	50 Hz
Nominal capacity	199 µF
Nominal current	14,4 A
Number of phases	3
Height of the housing	140 mm

Programmable logic controller choosing, measuring and control elements. The programmable logic

controller (PLC) is an essential part in the management system of capacitor banks. Its main task is to implement the control algorithm by following the introduced program. A low-level controller, the so-called microcontrollers, is sufficient for our project. The main features that we need to consider when choosing a PLC are the number of digital inputs/outputs, the number of analogue inputs/outputs, the supply voltage, the type of outputs – relay or transistor.

A programmable logic controller Mitsubishi from the MELSEC FX1S series is selected, and for our needs, the FX1S-14MT-ESS/UL is suitable for use with the FX1N-2AD-BD Expansion Analog Module. In this project, the current transformer must provide information about the current (or load) of the electric motor at any moment. The range that is necessary to cover current transformer is 0-50.

Standard power transformer models reduce primary current with some standard ratio. Since the selected controller works with standard analogue levels, an additional matching scheme will be needed to convert the output from the current transformer to one of the standard analogue levels. It is much more convenient to use a current transformer with a built-in coordinate circuit, from which a standardized signal is directly received. A current transformer MBS AG model SWMU 31.51.31-5014 is selected.

The capacitive contactors will perform the switching of the capacitor banks stages. The grades are 10KVAR. The following model is selected: Capacitive contactor for reactive power compensation, 12,5 kVar at 400 VAC. 110VAC coil, manufacturer KBR GmbH, Code: K3-62K.

Support relays are required, as the controller can not directly power the contactor coils. The FINDER DPDT microrelay was used; Coil voltage: 24VDC; maximum contact load 8A/250VAC; 8A/30VDC.

Design of an electrical circuit. The design of the electrical circuits uses AutoCAD Electrical software. A diagram is designed for the stages of the capacitor banks system and a general circuit for controlling the electric motor used.

Development of a PLC control program. To develop the ladder diagram we use a Mitsubishi electric software product from the Melsoft GX Works2 program package [5].

Results and discussion

Using the tables shown in the material and methods, the required capacitance of the capacitor banks was determined first for the average value of cosφ 0,95 and then for the limit values of 0,91 and 0,99. The required power of the capacitor banks has been calculated for a load of over 30%, as in real conditions this electric machine is loaded with a minimum of 30% even at idle. This load is due to the mechanical characteristics of the electric drive system in which the motor is engaged.

From the data obtained is a diagram showing the limits in which the capacity of the capacitor banks for the respective load can vary.

It is clear from the diagram that static compensation (a constant-power capacitor banks) can not cover the entire load range of the motor. For this reason, grade compensation was used. The stages are selected so that capacitor banks of the same power or the combination thereof can be used. From economic expediency it is necessary to choose a variant with the least degree even at the price of minor inaccuracies. It is necessary to select capacitor banks with the available power on the market.

Taking into account the data received, three-stage compensation was chosen as an acceptable option.

Capacitors are rated at 10 KVAR for each individual stage. The capacitors of the individual stages are connected in parallel, which will sum their power.

The limits and power of individual ranges are as follows:

- first range from 100% to 65% load, one capacitor with 10KVAR output;
- second range from 65% to 38% load, two convoys with a total power of 20 KVAR;
- a third range less than 38% load, three capacitors with a total power of 30 KVAR.

The current of the motor and the current of one of the phases are determined (Figure 2).

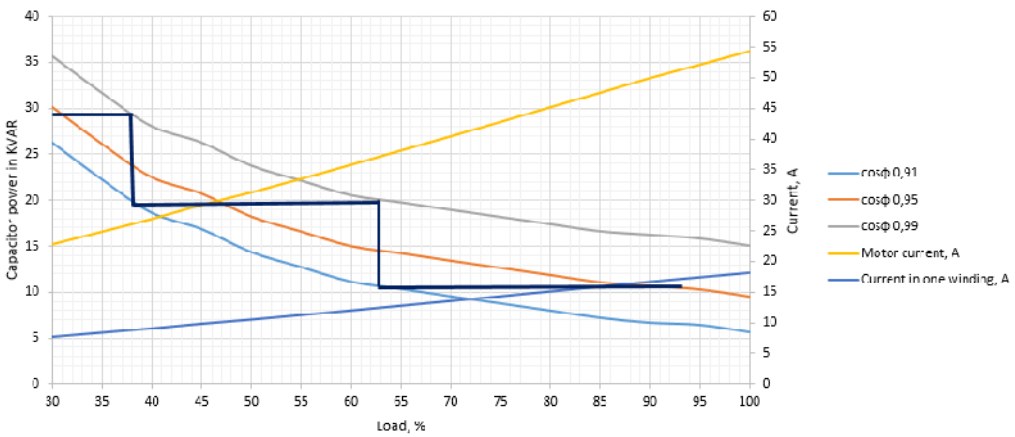


Fig. 2. Range of degrees of the capacitor bank defined by electric motor current and capacitor banks power

The electrical circuit is divided into power and operating circuits. The purpose of the power circuit is to supply a supply voltage to the power consumer, in this case the electric motor.

In view of the safety requirements, a fuse switch disconnector FC1 is first installed on the power supply

circuit. After that, the contactor K1, which performs the main commutation, follows the motor protection KF1, which provides overload protection of the electric motor.

To measure the current of one of the phases, a W1 current transformer (current transducer) is installed. It is powered by a 24VDC operating voltage from the PLC, its V+ and VI- terminals are connected to the PLC analogue block. The capacitor banks C1, C2, C3 are connected in parallel to the motor and switched via the capacitive contactors KC1, KC2, KC3 (Figure 3).

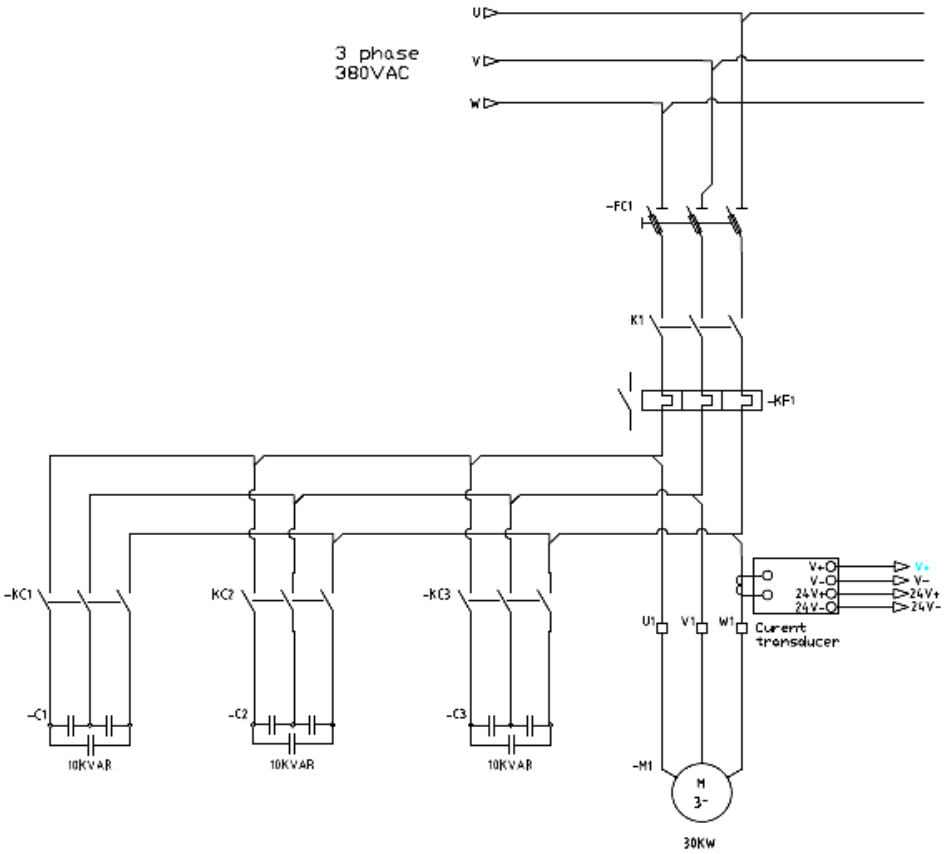


Fig. 3. Power circuit of an electric motor with three-stage capacitor bank

The operating circuit (Figure 4) transmits the control signals between the different components of the circuit diagram. From a safety point of view, it has a voltage lower than 110VAC, 24VAC or 24VDC.

The outputs of the controller can not directly power the contactors coils due to their inconsistent power. For this purpose, auxiliary relays K1.0, KC1.0, KC2.0, KC3.0 are used, this will extend the life of the controller and provide additional separation of the power circuit from the PLC operating circuit.

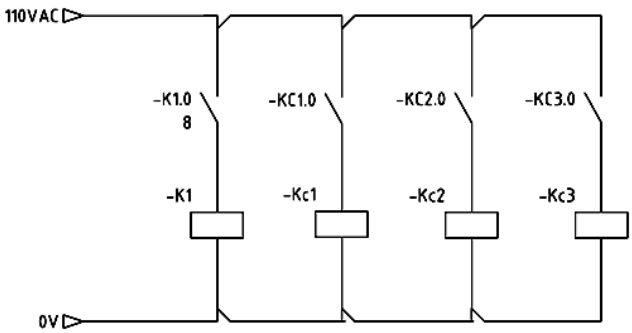


Fig. 4. Operational control circuit for contactors

PLC is central device to the control system. It receives signals from its digital and analogue inputs, processes them via rules set by the control program and triggers the corresponding outputs (Figure 5). In this case, the PLC is powered by a 230VAC main voltage supplied to terminals L and N and grounded to the GND terminal.

For supplying the input and output circuits, the controller has an internal power module. It converts the main voltage to a stabilized operating voltage of 24VDC.

The input circuit needs to be configured via a S/S (sink / source) terminal. It is supplied with 0V or 24V, depending on whether sensors with NPN or PNP logic are used. In this case, no such sensors are used, so it does not matter.

To the S/S terminal is supplied to 0V, and to the inputs 24V is passed, which will pass through fuse F2, 200mA.

The output circuit is powered by +V0, +V1, +V2 terminals with 24V, and the power supply also goes through the normally closed contact of an emergency stop button. Pressing the button will stop the power supply from the outputs and from there the switched relays.

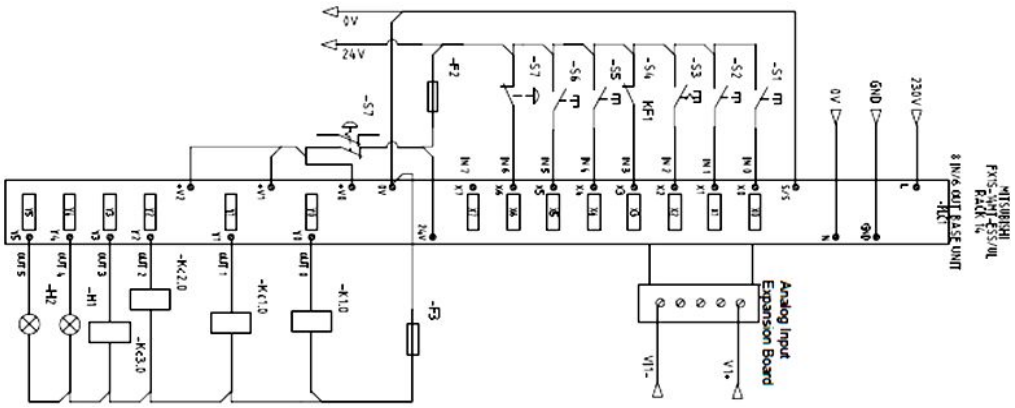


Fig. 5. Input and output circuits of PLC

Process data points are defined, which are controlled from PLC inputs and outputs. Table 4 lists these points with their corresponding inputs and outputs.

Table 4

Process information points

Inputs		Outputs	
Name	Address	Name	Address
Button start S1	X0	K1.0 Additional relay for contact K1	Y0
Button stop S2	X1	KC1.0 Additional relay for contact KC1	Y1
On/off switch for capacitor bank S3	X2	KC2.0 Additional relay for contact KC2	Y2
Additional contact for motor protection S4	X3	KC3.0 Additional relay for contact KC3	Y3
Restart button for capacitor bank timer S5	X4	H1 Signal lamp for control time КБ	Y4
Reset button for switching counter S6	X5	H2 Termal protection signal lamp	Y5
Emergency stop S7	X6	-	-

The purpose of the control algorithm is to set the conditions for switching the different levels of the capacitor banks (CB). Some additional features have been added to increase the capacitors life of the capacitor banks and make it easier to diagnose it.

When starting the electric motor, the load is 100%, this means that the first stage will be switched on simultaneously. When the load is reduced to 65%, the second range is turned on. If the load continues to decrease to 38%, a third range is turned on, but if it increases back to 65%, the second range is excluded.

- first range (CB 1) will be turned on at a load of 65%-100% (12,7A-18,1A);
- second range (CB 1+2) will be turned on at a load of 65%-38% (12,7A-8,8A);
- third range (CB 1+2+3) will be turned on at a load <38% (8,8A).

In order to prevent frequent switching in intermediate zones, hysteresis must be determined.

The larger hysteresis will make the system more stable but less accurate, but the smaller backwards – more accurate but less stable. Therefore, the possibility of changing the parameters defining hysteresis should be provided.

When the switching points are reached at a higher or lower range, the load has to go through the 1% (0,2A) point of the switching point to make the switch. This will give us a hysteresis of 2% at the switching points.

Another possibility of occurrence of unwanted frequent switching are the disturbances. These are sharp short-term changes in the measured value, in our case current (load). To prevent the disturbance effect, a filter element is introduced. For the purposes of this algorithm, it is sufficient to determine the time T1 for which the switching point has to be reached in order to switch to a higher or lower degree. This is an disturbance filter with a time less than T1. This time is set to T1=0,5s, and it must also be possible to change this parameter.

The first additional function is rotating the capacitor banks (KB) for the individual ranges. During work, the CBs of the individual range are loaded for different periods of time (first range is constantly loaded, second range in a bit and at least a third), this will lead to uneven drainage of the CB and decrease the life of the capacitors. The purpose of the function is to change the positions of the CB in relation to the individual ranges. This will be done every time the electric motor is started to avoid unnecessary switching under load during operation.

A second additional function is a timer that measures the operating time of the capacitors and a signal lamp will be switched on when a part of the service life set by the manufacturer is reached. It will indicate that a prophylactic measurement of the CB capacity should be made to avoid ineffective work.

A third extra function is a counter that measures the number of turnouts in one hour. The role of this

function is to determine whether the system is working normally during the system start-up or subsequent diagnostics. Too many activations of capacitor banks will mean that hysteresis or T1 time has to be increased. If switchings are few in number, can be reduced hysteresis or time of filtration in order to increase accuracy.

The number of switching is also judged for the life of the capacitive contactors.

The control algorithm for switching the capacitor battery is presented in Table 5.

Table 5

Algorithm of program for PLC control of capacitor bank

Stage	Process	Description
1	2	3
A	Protection circuit	When executing the conditions X6=1 AND X3=1 AND M8004=1, the program relay M1=1
B	Definition of setup parameters	Switching point for range 2, register D12 Switching point for range 3, register D15 Hysteresis zone in switching points, register D18 Time T of filter function, register D17 The converting values are: D12=1270 (12,7A) D15=880 (8,8A) D17=5 (0,5 sec) D18=20 (1%) A M8002 program relay is used which is only included when the program first scans The transformations are performed once when the controller is started in RUN mode
C	Analog signal processing	The current transformer range is 0-50A and converted to an analog 0-10V signal from there, the analog to digital converter of the controller converts them to a digital value with a range of 0-4000 stored in register D8112 A coefficient for the measured value to the value of the register k=1/80 is defined The value of the analog register is moved to register D0. With the MUL function the register value is multiplied by 5, the resulting result is recorded in D19 The value of D19 is divided by 4 and the result is recorded in register D1
D	Electric motor control	The conditions are to be pressed the START X0 relay M1 that the STOP X2 or X0=1 AND X1=0 AND M1=1 pushbutton is not active. After the conditions are fulfilled, the output Y0=1 that triggers the start of the electric motor To deactivate the output, it is sufficient to activate the stop button (X1=1) or switch off the safety relay (M1=0). Upon activation of the output, the relay M2, which is responsible for the startup of the capacitor bank range 1
E	Capacitor bank ranges control	Three values need to switch to range 2. Switching point - D12, lower and upper limit of the hysteresis zone D11 and D12. Comparison function *inline comparisons* has been used When the recorded analog value in register D1 is less than D11, the auxiliary relay M2 is switched on. When the value D1 is greater than D13, an auxiliary relay M3 is switched on. When D1 is less than D12, the timer T1 is switched on When D1 is greater than D12, the timer T2 (T1 and T2 timers for the D17 filter time) is switched on. The conditions for the inclusion of range 2 are T1 and M2 to be active, the auxiliary relay M4 (stopping the degree) is not active and the output Y0 is active When switching on the auxiliary relay for step two, T1 and M2 maintenance is triggered. When T1 and M3 are activated, the range is turned off. The dependencies for starting and stopping stage 3 with auxiliary relay M9 are similar
F	Ranges rotation control function	From the parts of the program, we have built-in auxiliary relays M2, M8 and M9 to start, respectively, the first, second and third stages of the condenser system Outputs Y1, Y2 and Y3 trigger the capacitor banks, respectively C1, C2 and C3. In the first cycle M1 triggers Y1, M8-Y2 and M9-Y3 (variant 1) In the second cycle M2-Y3, M8-Y1 and M9-Y2 (variant 2). In the third cycle M2-Y2, M8-Y3 and M9-Y1 (variant 3). For this purpose, connections of each relay (M2, M8 and M9) are made with each output separately, between them are mounted auxiliary relays M400, M401 and M402, so that the inclusion of each of these relays determines one of the three variants. The relays are of a special type that maintains their states in registers in the PLC's permanent memory. Thus, even when the clamping stops, the order of range shifting will be maintained. In the next part of the program, one of the relays M400, M401 and M402 will be activated every time Y0 is triggered. Here is used the rising edge pulse (PLS) function. When relay Y0 is triggered, the relay contact is active for only one scanning cycle of the controller. In this case, this means that the circuit will work one time at electrical motor start. The SET function includes the relays to remain constant until they are switched off by the RESET function

Table 1 continued

1	2	3
G	Function for working time measurement	Thanks to the rotation function, the working time of the individual capacitor bank is approximately equal, so it is enough to measure the time of only one. In this case, the operating time of Y1 was measured. The control time that is set is 30000 h. The controller does not have a timer with such a long memory. The solution is to use a combination of timer and counters. A retain timer is used, which, even when the input is interrupted, retains the value. In this case, a T25 timer is used At each 10-minute count, the timer outputs a C16 counter to the K6 constant, which will activate it at any one hour C16 sends a signal to C17 with the K30000 constant, which will be activated every 30000 hours. EEPROM backed ups are used, they retain the numbered value after the power supply C17 switches on a M10 auxiliary relay, which through the special M8113 (1S pulse) relay includes output Y4 (signal lamp - time of capacitor bank). When the reset button (X4) is pressed, the circuit stops and the maintenance stop, stopping the signal lamp (Y4)
H	Counter for cycles of inclusion	For counting the number of loop cycles of one of KB (Y1), three registers D128, D129 and D130 are used. The registers used are EEPROM backed up At each run of Y1 through the ADD function, the value in register D128 is incremented by one, thus counting the number of inclusions In register D129, the number of cycles of a C16 counter is measured, which in this case are the hours of operation. In D130 through the DIV function, we calculate the number of shifts per hour When triggered at input X5 (Reset Cycles button), the values in the three registers are multiplied by zero, which practically zeroes them
I	Alarm for thermal protection	When X3 is triggered (auxiliary motor protection contact), output Y5 is activated (signal lamp-activated motor protection) An M8013 (1S pulse) relay is also used to allow the signal lamp to flash at a frequency of one second

Conclusion

The choice of reactive energy compensation method depends on:

- Cost of equipment for power factor correction;
- Time for efficient operation of the apparatus;
- Need for service;
- Expected economic effect of power factor improvement;
- Expected indirect benefits.

The chosen method of controlling passive power factor correction apparatuses with a programmable logic controller has the advantage of having the flexibility of the microelectronic devices and the efficiency of the dedicated controllers for capacitor banks control.

The proposed hardware and software tools can be easily adapted to electric motors, and it is necessary to determine a conversion factor for the numerical values obtained in the controller register in specific values of the motor current measured.

References

1. Binev I., K. Ivanov, V. Rasheva, G. Komitov, Y. Valchev (2017), Hydrodynamics of a tube in tube heat exchanger, Proceedings of ICTTE 2017, ISSN 1314-9474, pp. 318–322.

2. Electrical Technology, URL: https://www.electricaltechnology.org/ (available on 01.11.2017)

3. El-Moniema M., H. Azazib, S. Mahmoud (2014), A current sensorless power factor correction control for LED lamp driver, Alexandria Engineering Journal, Vol. 53, Iss.1, pp. 69–79

4. Hsieh Y.-P., J.-F. Chen, L-S. Yang, C-Y. Wu, W-S. Liu, (2014), High-Conversion-Ratio Bidirectional DC-DC Converter with Coupled Inductor. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 61, pp. 210–222.

5. Mitsubishi electric, FX-Series PLC Training Manual using GX-Developer

6. Redl R., Erisman B. P. (1994), Reducing distortion in Peak-Current-Controlled Boost Power-Factor Correctors, APEC Conf. Proc., pp. 576–583.

7. Rossetto L., G. Spiazzi, P. Tenti (1994), Control techniques for power factor correction, Proceedings of the International Conference on Power Electronics and Motion Control, Warsaw, pp. 1310–1318.

8. Schneider Electric, Improve power factor and harmonics filtering, www.ops-ecat.schneider-electric.com/.../CatalogueRetrieverServlet? (in Bulgarian) (available on 30.08.2017)

9. Zhou C., Jovanovic M. (1992), Design Trade-offs in Continuous Current-mode Controlled Boost Power-Factor Correction Circuits', HFPC Conf. proc., pp. 209–220.

10. Zlatev Z., Dimitrova A. (2017), Determination of the capacity of capacitor banks for the improvement the power factor of electric drives through interval assessments, Journal of electric engineering.

Отримана/Received : 5.2.2018 р. Надрукована/Printed :27.3.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 620.93

А.Д. СЛОБОДЯНИК, Л.Г. КОВАЛЬ, М.В. ЛИСИЙ
Вінницький національний технічний університет
А.І. БІЛЮК, Я.І ЯРОСЛАВСЬКИЙ
Вінницький державний педагогічний університет

РОЗПОДІЛ ЕНЕРГІЇ В СПЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ

В роботі розглядається проблема дослідження спектроенергетичних перетворювачів оптичного і близького до нього діапазону. Пропонується теоретична модель таких спектрогенераторів, що працюють в умовах самозбудження самої системи. Розроблено модель, що базується на квантових законах випромінювання та взаємодії випромінювання з речовиною. Наведено блок-схему спектротрансформатора та схему способу уніфікованої трансформації довжин хвиль. Запропоновано спосіб трансформації довжин світлових хвиль на базі інформаційно-енергетичного перетворення світлового спектру. Проведено теоретичні дослідження спектроенергетичних перетворювачів. Здійснено системний аналіз квантової теорії випромінювання та його взаємодії з найбільш придатними середовищами. Отримані закономірності придатні для розв'язку задачі з перетворення енергії різних діапазонів енергетичного спектру. Проведено теоретичний розрахунок розв'язку задачі з перетворення енергії різних діапазонів енергетичного спектру.

Ключові слова: *оптичні частотні перетворювачі, спектротрансформатори, спектральна випромінювальна здатність, формула Планка.*

A.D. SLOBODIANIK, L.G. KOVAL, M.V. LYSYI
Vinnitsa National Technical University
A.I. BILYUK, J. YAROSLAVSKIY
Vinnitsa State Pedagogical University

DISTRIBUTION OF ENERGY IN SPECTROENERGETIC CONVERTERS

The problem of research of spectroscopic converters of the optical and near-range range is considered in this paper. The theoretical model of such spectrogenerators operating in conditions of self-excitation of the system itself is offered. A model based on quantum radiation laws and interaction of radiation with matter has been developed. The block diagram of the spectrotransformer and the scheme of the unified transformation of wavelengths are presented. The method of transformation of the wavelengths of light waves is proposed based on the information-energy transformation of the light spectrum. The proposed method for transforming the wavelengths of light waves on the basis of the information-energy transformation of the light spectrum includes an effective working environment of resonant optical pumping of alkali metal vapors, which allows the population of the upper atomic levels to occur and predetermines the inverse population of relatively lower energy levels. This creates the possibility of spectral transformation of waves of a wide cosmic range in a predetermined interval of wavelengths. The problem of the investigation of spectroscopic and optical converters of the optical and near-range range is presented in this paper. The theoretical model of such spectrogenerators operating in conditions of self-excitation of the system itself is offered. The developed model is based on the quantum laws of radiation and the interaction of radiation with matter. The basis of this theory is the Schrödinger equation and its separate solutions are presented. Theoretical investigations of spectroenergetic converters are carried out. A systematic analysis of the quantum theory of radiation and its interaction with the most suitable media has been carried out. The obtained laws are suitable for solving the problem of energy transformation of different ranges of the energy spectrum.

Keywords: *optical frequency transducers, spectrotransformers, spectral radiating ability, Planck's formula, theoretical calculation, transformation, energy, power spectrum.*

Проблема створення частотних перетворювачів різних оптичних діапазонів розкривається в класичних роботах лінійної оптики [1, 2]. На сучасному етапі розвитку теорії випромінювання обговорюється можливість використання послідовних взаємодій, що відбуваються в середовищі з квадратичною нелінійністю в полі загальної хвилі накачки для розробки таких перетворювачів [3, 4]. Про використання явища вимушеного випромінювання інвертованої атомної системи для підсилення або перетворення оптичного сигналу відомо з праць Шавлова і Таунса. Практично ця ідея реалізована при створенні імпульсного рубінового лазера, лазера неперервної дії – гелій-неоновий газовий лазер. Пізніше була отримана неперервна генерація в твердо тільних системах на напівпровідниках.

В роботі ставиться проблема дослідження спектроенергетичних перетворювачів оптичного і близького до нього діапазону. Пропонується теоретична модель таких спектрогенераторів, що працюють в умовах самозбудження самої системи. Розроблена модель базується на квантових законах випромінювання та взаємодії випромінювання з речовиною. В основі цієї теорії є рівняння Шредінгера та представлені його окремі розв'язки.

Запропонована атомна система складається з великої кількості атомів, які крім інших енергетичних рівнів мають два енергетичні рівні з енергіями E_1 та E_2 з відповідними густинами заселення N_1 та N_2. Розглянемо взаємодію окремого атома з полем випромінювання абсолютно чорного тіла при температурі T.

Атоми, що мають енергію E_2 $(E_2 > E_1)$ знаходяться в збудженому стані. Виділимо деяку ділянку, яка бере участь у рівноважному випромінюванні, і застосуємо до неї закон розподілу атомів за енергіями Больцмана. Згідно із законом, числа атомів, що мають енергію E_1 і E_2 відповідно дорівнюють

$$N_1 = N_0 e^{-\frac{E_1}{kT}};\ N_2 = N_0 e^{-\frac{E_2}{kT}}, \quad (1)$$

звідки

$$\frac{N_1}{N_2} = e^{\frac{E_2 - E_1}{kT}} = e^{\frac{h\nu}{kT}}. \quad (2)$$

У стані рівноважного випромінювання число атомів, що випромінюють світло за певний період часу, дорівнює числу атомів, що поглинають світло за цей самий час.

Розглянемо кількість актів випромінювання за одиницю часу. Кількість збуджених атомів N_2. Їх перехід на нижчий енергетичний рівень, що супроводжується випромінюванням фотонів може бути самовільним або відбуватися під впливом падаючих електромагнітних хвиль. Кількість спонтанних випромінювань збуджених атомів за одиницю часу пропорційна числу атомів N_2 і відповідно дорівнює $n_1 = AN_2$, де A – коефіцієнт пропорційності, що показує відносну кількість актів спонтанних випромінювань з усього числа атомів N_2. Кількість актів випромінювання збуджених атомів, зумовлених падаючими хвилями, пропорційна також числу збуджених атомів N_2 та густині енергії падаючих електромагнітних хвиль $w(\nu, T)$. Так як, $w(\nu, T)$ пропорційна до випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла $\varepsilon(\nu, T)$, то кількість вимушених випромінювань в цьому випадку буде $n_2 = B_{21}N_2\varepsilon(\nu, T)$, де B_{21} – відповідний коефіцієнт імовірності переходу атомів із вищого енергетичного рівня E_2 на нижчий рівень E_1 зумовленого падаючими хвилями.

Кількість усіх випромінювань збуджених атомів, тобто загальне число фотонів, що випромінюються за одиницю часу, дорівнює

$$n = n_1 + n_2 = AN_2 + B_{21}N_2\varepsilon(\nu, T). \quad (3)$$

Кількість актів поглинання фотонів атомами N_1, внаслідок чого вони переходять, пропорційна кількості самих атомів і густині енергії падаючих променів, тобто

$$n_1^{'} = B_{12}N_1\varepsilon(\nu, T), \quad (4)$$

де B_{12} – відповідний коефіцієнт імовірності переходу атомів з рівня E_1 на рівень E_2.

Для рівноважного випромінювання кількість актів поглинання повинна бути рівна кількості актів випромінювання $(n = n_1^{'})$. Прирівняємо вирази (3) і (4) між собою, дістанемо:

$$AN_2 + B_{21}N_2\varepsilon(\nu, T) = B_{12}N_1\varepsilon(\nu, T). \quad (5)$$

Розв'яжемо рівняння (5) відносно випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла, дістанемо:

$$\varepsilon(\nu, T) = \frac{AN_2}{B_{12}N_1 - B_{21}N_2} = \frac{AN_2}{\frac{B_{12}}{B_{21}}\frac{N_1}{N_2} - 1} = \frac{AN_2}{\frac{B_{12}}{B_{21}}e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (6)$$

Коефіцієнти A, B_{12}, B_{21} визначаються з граничних умов. При нескінченно високій температурі $(T \to \infty)$ функція $e^{\frac{h\nu}{kT}} \to 1$. З врахуванням цього формула (6) набуває вигляду

$$\varepsilon(\nu, \infty) = \frac{AN_2}{\frac{B_{12}}{B_{21}} - 1} \quad (7)$$

З функції розподілу випливає, коли $T \to \infty$, $\varepsilon(\nu, \infty) \to \infty$. Звідси випливає, що знаменник у виразі (7) прямує до нуля, отже $\frac{B_{12}}{B_{21}} = 1$. Підставимо цей вираз у формулу (6), дістанемо

$$\varepsilon(\nu, T) = \frac{AN_2}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (8)$$

Для досить малих частот енергія кванта випромінювання дуже мала порівняно з енергією теплового руху $(h\nu << kT)$, тому можна обмежитися двома першими членами розкладеної в ряд функції $e^{\frac{h\nu}{kT}}$:

$$e^{\frac{h\nu}{kT}} = 1 + \frac{h\nu}{kT} + ... \approx 1 + \frac{h\nu}{kT}.$$

Отже, формула (8) набуде такого вигляду:

$$\varepsilon(\nu,T)=AN_2\frac{kT}{h\nu}. \tag{9}$$

В області малих частот $(h\nu << kT)$ справджується класична формула Релея $\varepsilon(\nu,T)=\frac{2\pi\nu^2kT}{c^2}$. Прирівнюючи до формули (9), отримаємо:

$$\varepsilon(\nu,T)=AN_2\frac{kT}{h\nu}=\frac{2\pi\nu^2kT}{c^2}\Rightarrow AN_2=\frac{2\pi h\nu^3}{c^2}. \tag{10}$$

З врахуванням отриманих коефіцієнтів, формула Планка (8) набуде вигляду:

$$\varepsilon(\nu,T)=\frac{2\pi h\nu^3}{c^2}\frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}}-1}, \tag{11}$$

де $h=6{,}62\cdot10^{-34}$ $Дж\cdot с$ – стала Планка; $k=1{,}38\cdot10^{-23}$ $Дж/K$ – стала Больцмана. Розподіл енергії випромінювання $\varepsilon(\nu,T),\frac{Дж}{с\cdot м^2}$ за частотою ν при різних температурах T представлено на рис.1.

Для визначення ймовірності переходу W_{21}, індукованого монохроматичними полем визначається загальним виразом:

$$(W_{21})=\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{Ac^2\rho(\nu)}{2\pi h\nu^3}g(\nu-\nu_0)d\nu, \tag{12}$$

де $g(\nu-\nu_0)$ – нормована функція форми лінії з максимумом при ν_0.

До визнання наявності енергетичних зон у кристалах приводить аналіз розв’язків рівняння Шредінгера для електрона у кристалі. Так, застосування адіабатичного і одноелектронного наближення перетворює рівняння для всього кристала в рівняння для однієї частинки.

Адіабатичне наближення базується на тому, що середня швидкість електронів як легких частинок набагато перевищує швидкість ядер. За час, протягом якого електрони проходять значний шлях, розташування ядер у кристалі практично не змінюється. Тому вважають, що ядра при цьому нерухомі.

Одноелектронне наближення є одним із фундаментальних методів теорії твердого тіла. Воно полягає в тому, що справжнє потенціальне поле, яке визначається миттєвим положенням всіх електронів і описується потенціальною енергією U_e, замінюється на поле, створене усередненим просторовим зарядом решти електронів $\Omega(r_i)$ та нерухомими іонами кристалічної ґратки $V(r_i)$

$$U_e(r_i)=\Omega(r_i)+V(r_i)$$

Тоді стаціонарне рівняння Шредінгера *i*-го електрона матиме вигляд

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\varphi(r)+[\Omega(r)+V(r)]\varphi(r)=E\varphi(r)\cdot \tag{13}$$

Розв’язок рівняння (13) знаходять так. Обчислюють Ω на основі одноелектронних хвильових функцій нульового наближення, підібраних інтуїтивно. Після цього із системи рівнянь типу (13) визначають хвильові функції в першому наближенні, потім – хвильові функції в другому наближенні і т.д. У теорії твердого тіла поле Ω часто розглядають як постійну величину і вважають, що вона дорівнює нулю. Таким чином, задача про електронні властивості кристала зводиться до задачі про рух одного електрона в періодичному полі кристалічної гратки.

Розглянемо деякі особливості руху електрона в кристалі на прикладі лінійної моделі кристалічного тіла. Ця модель визначається потенціальною енергією електрона $V(r_i)$. Функція $V(r_i)$ – періодична з періодом a, тобто $V(x+a)=V(x)$.

Для спрощення обмежимося розглядом одновимірного кристала (тобто нескінченного прямолінійного ланцюжка однакових атомів, що знаходяться на постійній відстані а один від одного). Рівняння Шредінгера для стаціонарних станів у цьому випадку має вигляд

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\varphi}{dx^2}+U(x)\varphi=E\varphi, \tag{14}$$

або

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2}+\chi^2(x)\varphi=0, \tag{15}$$

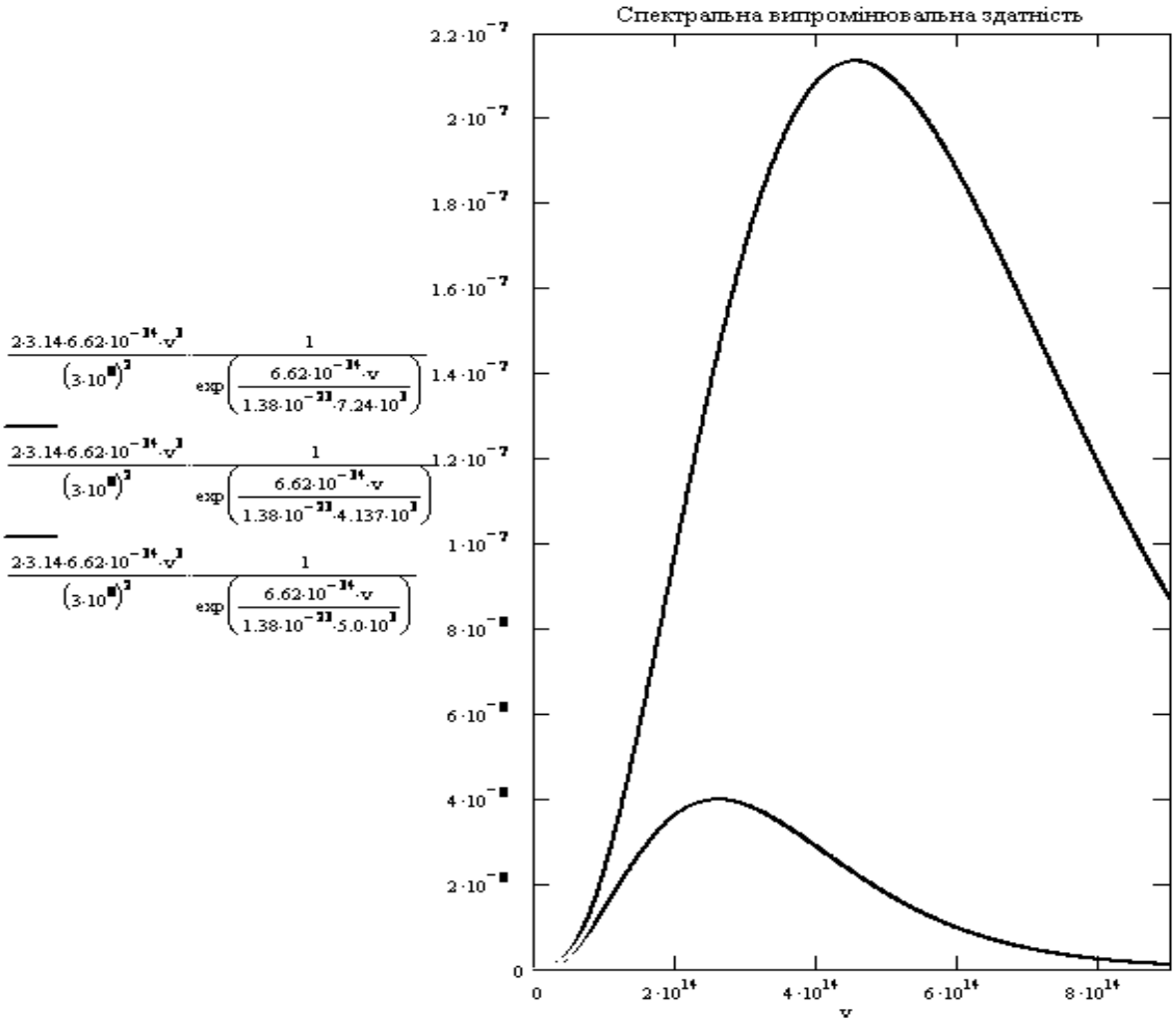


Рис. 1. Розподіл енергії випромінювання за частотою ν та температурою T

де $\chi^2 = \frac{2m}{\hbar^2}(E-U)$.

Рівняння (15) – лінійне диференціальне рівняння другого порядку зі змінними періодично коефіцієнтами, оскільки у разі відсутності зовнішнього поля $\chi^2(x+a)=\chi^2(x)$ для будь-якого x.

Проведемо дослідження загального вигляду розв'язків цього рівняння, користуючись періодичністю функції $\chi^2(x)$, результатом якої є

$$\frac{d^2\varphi(x+a)}{dx^2}+\chi^2(x+a)\varphi(x+a)=\frac{d^2\varphi}{dx^2}+\chi^2(x)\varphi(x+a) \qquad (16)$$

З (16) видно, що якщо функція $\varphi(x)$ є розв'язком рівняння Хілла. то функція $\varphi(x-a)$ також буде розв'язком того ж рівняння. Якщо $C_1\varphi_1(x)$ і $C_2\varphi_2(x)$ – будь-яких два довільних лінійно незалежних розв'язки рівняння (15), то його загальний розв'язок можна подати у вигляді

$$\varphi(x)=C_1\varphi_1(x)+C_2\varphi_2(x),$$

де C_1 і C_2 – довільні сталі.

Доведемо, що серед розв'язків рівняння (15) існує такий розв'язок $\Phi(x)$, коли для будь-якого x $\Phi(x+a)=\lambda\Phi(x)$, де λ – стала. Якщо такий розв'язок існує, то його також можна подати у вигляді $\Phi(x)=C_1\varphi_1(x)+C_2\varphi_2(x)$

Для спрощення розрахунків виберемо лінійно незалежні розв'язки $\varphi_1(x)$ і $\varphi_2(x)$ так, щоб вони задовольняли умовам

$$\varphi_1(0)=1, \quad \varphi_1'(0)=0$$

$$\varphi_2(0)=0, \quad \varphi_2'(0)=1$$

У такому випадку кажуть, що функції $\varphi_1(x)$ і $\varphi_2(x)$ утворюють фундаментальну систему розв'язків). Тоді при x = 0 вимоги $\Phi(x+a)=\lambda\Phi(x)$ і $\Phi'(x+a)=\lambda\Phi'(x)$ запишуться так:

$$C_1\varphi_1(x)+C_2\varphi_2(x)=\lambda C_1$$
$$C_1\varphi_1'(x)+C_2\varphi_2'(x)=\lambda C_2$$

або

$$[\varphi_1(a)-\lambda]C_1+\varphi_2(a)C_2=0$$
$$\varphi_1'(a)C_1+[\varphi_2'(a)-\lambda]C_2=0.$$

Розв'язки цієї системи лінійних однорідних рівнянь (відносно C_1 і C_2) існують за умови

$$\begin{vmatrix}\varphi_1(a)-\lambda & \varphi_2(a)\\ \varphi_1'(a) & \varphi_2'(a)-\lambda\end{vmatrix}=0$$

або

$$\lambda^2-[\varphi_1(a)+\varphi_2'(a)]\lambda+[\varphi_1(a)\varphi_2'(a)-\varphi_1'(a)\varphi_2(a)]=0. \tag{17}$$

Шляхом диференціювання з врахуванням рівняння (15) легко переконатися, що

$$\frac{d}{dx}[\varphi_1(x)\varphi_2'(x)-\varphi_1'(x)\varphi_2(x)]=0.$$

Отже, третій доданок (17) являє собою функцію, яка є сталою величиною, її значення для x = 0 перетворюється в одиницю. Такого ж значення набирає ця функція і для $x=a$. Позначимо $\varphi_1(a)+\varphi_2'=2L.$

Цим самим визначиться не один, а два розв'язки рівняння (15): $\varphi_1(x)$ і $\varphi_2(x)$, які задовольняють необхідним вимогам. Розв'язки $\varphi_1(x)$ і $\varphi_2(x)$ лінійно незалежні, і їх зручно для подання загального розв'язку взяти у вигляді

$$\varphi=C_1\Phi_1(x)+C_2\varphi_2(x). \tag{18}$$

Самі розв'язки $\varphi_1(x)$ і $\varphi_2(x)$ не можуть бути знайдені, якщо функція $\chi^2(x)$ невідома, а параметр E нефіксований. Проте це не перешкоджає оперувати функціями $\varphi_1(x)$ і $\varphi_2(x)$ для встановлення загальних властивостей розв'язків рівняння (15).

Припустимо спочатку, що стала L за модулем більша від одиниці |L|>1. Тоді корені λ_1 і λ_2 є дійсними і різними. Тому з рівняння $\Phi(x+a)=\lambda\Phi(x)$ випливає, що у випадку, коли $x\to\infty$, одна з функцій $\varphi_1(x)$ або $\varphi_2(x)$ необмежено зростає, а коли $x\to\infty$, необмежено зростає інша. Внаслідок цього при |L| > 1 ні один із розв'язків $\varphi_1(x)$ і $\varphi_2(x)$ а отже, і довільна лінійна комбінація їх зі сталими коефіцієнтами (18) не може бути хвильовою функцією електрона в кристалі. Це означає, що в кристалі не існує станів з енергією E, для яких |L|>1. Такі енергії утворюють заборонені енергетичні зони.

Якщо ще врахувати часовий множник $e^{-i\omega t}$, то у разі відсутності зовнішніх силових полів можливі повні хвильові функції в кристалі можна подати у вигляді

$$\psi_1(x,t)=P_1(x)e^{-i(\omega t-kx)}$$
$$\psi_2(x,t)=P_2(x)e^{-i(\omega t+kx)} \tag{19}$$

Ці хвилі описують "вільний рух" електрона в кристалі, коли всі діючі на нього сили обмежені взаємодією з іонами кристалічної гратки та іншими електронами, а зовнішніх силових полів немає. Вони називаються хвилями Блоха. На відміну від плоских хвиль де Бройля, що поширюються у вільному просторі, у хвилях Блоха величини $P_1(x)$ і $P_2(x)$ не сталі, а просторово модульовані, тобто періодично змінюються вздовж ланцюжка з періодом a. Через таку просторову модуляцію при вільному поширенні Ψ-хвиль у кристалі величину $\hbar k$ називають квазіімпульсом електрона, тоді як при русі електрона у вільному просторі така величина є просто імпульсом.

У тривимірних кристалах плоска хвиля Блоха має вигляд, аналогічний (19). Тільки P(x) замінюється на функцію P($\vec{r}$), яка має ту ж просторову періодичність, що й сама гратка, а хвильове число k – на

хвильовий вектор $\vec{k}$, якому відповідає квазіімпульс $\hbar\vec{k}$.

Вибором квазіімпульсу визначається з точністю до сталого множника хвильова функція Блоха. Отже, визначається і енергія електрона б, яка входить у стаціонарне рівняння Шредінгера як сталий параметр. Таким чином, у межах кожної зони допустимі значення енергії електрона можуть бути подані як функції квазіімпульсу $E = E(p)$. Звідси отримуємо $\omega = \omega(k)$, оскільки $E = \hbar\omega$. Обидва ці співвідношення називаються законами дисперсії електронних хвиль або електрона в кристалі.

Реалізація можливих спектротрансформаторів представлена на такій блок-схемі, що включає в себе набір вузькочастотних демодуляторів (рис. 2).

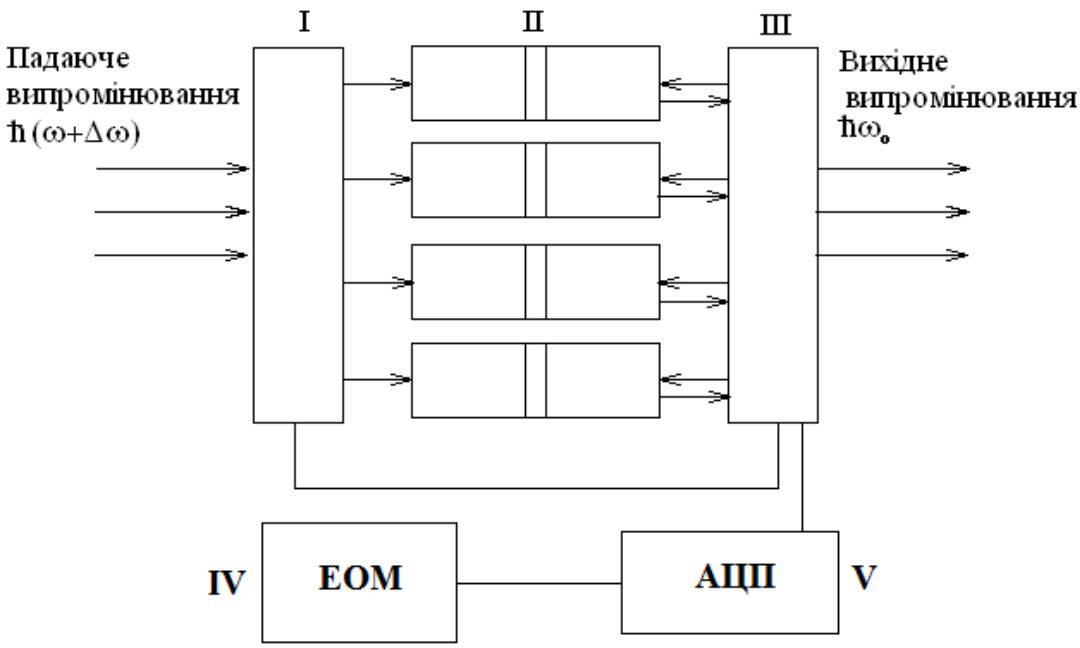


Рис. 2. Блок-схема спектротрансформатора

Випромінювання деякої ширини спектру $\hbar(\omega + \Delta\omega)$ потрапляє на блок I, в якому відбувається аналіз (декодування) виду енергетичного спектру (оптичний, радіочастотний, рентгенівський, γ – випромінювання, космічні промені і т.д.). Вхідними пристроями блоку I є оптичні коліматори, коливальні контури з чутливими антенами, детектори γ –випромінювання. Блок II являє собою демодулюючу систему, в якому відбувається розкладання складного за спектром випромінювання на окремі частоти ω_0. Тоді моноскладові випромінювання потрапляють на блок приймачів III. Між демодулюючою системою і блоком приймачів існує зворотній зв'язок. На виході з такої системи отримують сигнал заданої частоти ω_0, що відповідає енергії $\hbar\omega_0$. Розглянуті модулі I, II, III працюють на відомих фізичних закономірностях та явищах резонансу, інтерференції, дифракції, дисперсії, фотоефекту, ефекту Комптона і т.д. Така система робить селекцію та взаємне перетворення вхідного сигналу за відповідними частотами, тобто за енергією.

Система трансформації довжин хвиль, що носить більш універсальний характер функціонує відповідно до закону Бугера – Ламберта – Фабриканта

$$I(x) = I_0 e^{(\alpha-\beta)x}, \tag{20}$$

де I_0, $I(x)$– інтенсивності відповідно падаючої і хвилі, що пройшла крізь середовище; α – коефіцієнт підсилення; β – коефіцієнт послаблення середовища; x – товщина шару середовища. З формули видно, що в оптично активному середовищі $(\alpha > 0)$ інтенсивність випромінювання $I(x)$ значно зростає при збільшенні товщини шару середовища. Така система трансформації спектрального складу випромінювання має ряд переваг (6).

Космічне випромінювання 1 та відбите випромінювання системою дзеркал 2 потрапляє на активний спектральний перетворювач 3 (рис. 3). Тоді перетворений енергетичний спектр у необхідний частотний діапазон потрапляє до підсилювача випромінювання 4 і реєструється приймачем випромінювання 5.

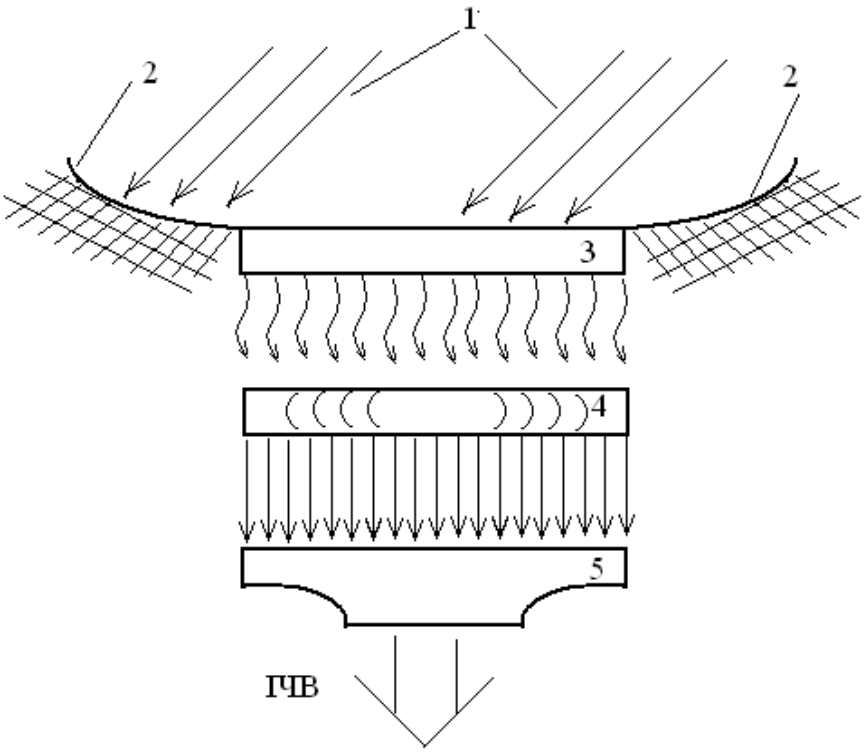


Рис. 3. Схема способу уніфікованої трансформації довжин хвиль

Запропонований спосіб трансформації довжин світлових хвиль на базі інформаційно-енергетичного перетворення світлового спектру містить в собі ефективне робоче середовище резонансної оптичної накачки парів лужних металів, яке дозволяє здійснювати заселення верхніх атомних рівнів та зумовлює інверсне заселення відносно нижче розміщених енергетичних рівнів. Це створює можливість спектральної трансформації хвиль широкого космічного діапазону в наперед заданий інтервал довжин хвиль.

Висновки

1. Проведено теоретичні дослідження спектроенергетичних перетворювачів.
2. Здійснено системний аналіз квантової теорії випромінювання та його взаємодії з найбільш придатними середовищами.
3. Отримані закономірності придатні для розв'язку задачі з перетворення енергії різних діапазонів енергетичного спектру.

Література

1. Рахманов С. А Проблемы нелинейной оптики / Рахманов С. А., Хохлов Р. В. – М. : ВИНИТИ, 1964.
2. Кожем'яко В. П. Теоретичні начала інформаційно-енергетичного перетворення світлового спектру / В. П. Кожем'яко, П. М. Зузяк, А. Д. Слободяник // Materialy II Miezdzynarodney neukove-praktyeznej konferencji "Wyksztalcenie I nauka bez granic – 2005". – 2005. – Tom 26. – S. 8–11.
3. Aleksandrovski A. L. J. Russian Laser Res./ Aleksandrovski A. L., Chirkin A. S., Volkov V. V., 1997, V. 18, p. 101.
4. Кожем'яко В. П. Теоретичні основи перетворення енергії світлового спектру / В. П. Кожем'яко, П. М. Зузяк, Є. П. Ларюшкин, А. Д. Слободяник // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – Вінниця, 2006. – № 1(11). – С. 97–101.
5. Воловик П. М. Фізика. Підручник для університетів / Воловик П. М. – К.; Ірпінь : Перун, 2005. – 864 с.

References

1. Rahmanov S. A Problemyi nelineynoy optiki / Rahmanov S. A., Hohlov R. V. M., VINITI, 1964.
2. Kozhem'yako V. P., TeoretichnI nachala InformatsIyno-energetichnogo peretvorennya svItlovogo spektru / Materialy II Miezdzynarodney neukove-praktyeznej konferencji "Wyksztalcenie I nauka bez granic – 2005"/ Kozhem'yako V. P., Zuzyak P. M., Slobodyanik A. D. // Tom 26. – 2005. – S. 8 – 11.
3. Aleksandrovski A. L J. Russian Laser Res./ Aleksandrovski A. L., Chirkin A. S., Volkov V. V., 1997, V. 18, p. 101.
4. Kozhem'yako V. P. TeoretichnI osnovi peretvorennya energIYi svItlovogo spektru // Optiko-elektronnI InformatsIyno-energetichnI tehnologIYi / Kozhem'yako V. P., Zuzyak P. M., Laryushkin E. P., Slobodyanik A. D. // VInnitsya, 2006, № 1(11). – S. 97–101.
5. Volovik P. M. FIzika. PIdruchnik dlya unIversitetIv. – K.; IrpIn: Perun, 2005. – 864 s.

Рецензія/Peer review : 23.11.2017 р. Надрукована/Printed :23.03.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 629.735

Ю.М. ШМЕЛЕВ, С.И. ВЛАДОВ, С.Н. БОЙКО, Я.Р. КЛИМОВА
Кременчуцкий летный колледж Национального авиационного университета
С.Я. ВИШНЕВСКИЙ
Винницкий национальный технический университет

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЕСПРЕРЫВНОГО МАРКОВСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ ИМИТАЦИИ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ ВЕРТОЛЕТА МИ-8МТВ

Данная статья посвящена разработке информационно-управляющей системы определения беспрерывного Марковского процесса при имитации работы двигателя вертолета Ми-8МТВ. Диагностика и прогнозирование изменений состояния работы двигателя вертолета Ми-8МТВ являются актуальной научно-практической задачей, поскольку эксплуатация данного типа вертолета продолжается по сей день как в Украине, так и во многих странах мира и в ближайшем будущем он не будет снят с эксплуатации. В настоящее время проблематикой диагностики авиационной техники в Украине занимаются ученые из Национального авиационного университета, основные работы которых состоят в оптимизации процессов ее технического обслуживания с помощью информационно-управляющих систем [1–4]. Данная система включается в себя блок-схему алгоритма моделирования беспрерывного Марковского процесса на примере имитации работы двигателя вертолета Ми-8МТВ и программную реализацию определения значений вектора переходных вероятностей, которые являются информационным критерием оценивания состояния двигателя вертолета в реальном времени. Для учета четырех обобщенных возможных состояний двигателя вертолета Ми-8МТВ разработана дискретная сеть Маркова. На основании чего получены аналитические выражения, решив которые, можно определить значения вектора переходных вероятностей. В работе получен график среднеквадратического отклонения состояния двигателя. Также в работе вычислены абсолютная и относительная погрешности полученных значений вектора вероятностей состояния двигателя вертолета Ми-8МТВ при численном моделировании Марковской цепи и аналитическим решением, которые не превысили 1 %, что подтвердило точность и адекватность полученных результатов.

Ключевые слова: моделирование, Марковские процессы, вертолет Ми-8МТВ, информационно-управляющая система, человеческий фактор.

IU. M. SHMELEV, S. I. VLADOV, S. N. BOIKO, IA. R. KLIMOVA
Kremenchuk Flying College of the National Aviation University
S. IA. VISHNEVSKII
Vinnitsa National Technical University

INFORMATION-CONTROL SYSTEM FOR DETERMINING OF THE CONTINUOUS MARKOV PROCESS DURING SIMULATING OF THE MI-8MTV HELICOPTER ENGINE OPERATION

This article is devoted to the development of an information-control system for determining of the continuous Markov process in the simulation of the operation of the Mi-8MTV helicopter engine. Diagnosis and prediction of changes in the operating status of the Mi-8MTV helicopter engine are an actual scientific and practical tasks, since the using of this helicopter type continues to this day both in Ukraine and in many countries of the world and in the near future it will not be decommissioned. At present, scientists from the National Aviation University are engaged in the diagnostics of aircraft engineering in Ukraine, whose main tasks are to optimize the processes of its maintenance with the help of information-control systems [1–4]. This system includes a block diagram of the algorithm for modelling of the continuous Markov process by simulating the operation of the Mi-8MTV helicopter engine and the software implementation of determining of the values of the vector of transition probabilities, which are an information criterion for evaluating of the state of the helicopter's engine in real time. To account the four generalized possible states of the Mi-8MTV helicopter engine, a discrete Markov network has been developed. Analytical expressions have been obtained on this base, deciding which, we can determine the values of the vector of transition probabilities. A graph of the standard deviation of the state of the engine was obtained. Also, the absolute and relative errors in the obtained values of the vector of probabilities of the state of the MI-8MTV helicopter engine were calculated with the numerical modelling of the Markov chain and the analytical solution, which did not exceed 1%, which confirmed the accuracy and adequacy of the obtained results.

Keywords: modelling, Markov processes, Mi-8MTV helicopter, information-control system, human factor.

Постановка задачи

Целью работы является разработка алгоритмов описания возможных состояний двигателя Ми-8МТВ, а также получение численных значений выходных диагностирующих параметров, что позволит определять вероятность отказа двигателя в реальных эксплуатационных режимах.

Материал и результаты исследований

Условие задачи. Принимается, что модель Марковского процесса, описывающая основные состояния двигателя вертолета Ми-8МТВ, представлена в виде графа, в котором состояния (вершины) связаны между собой связями (переходами из i-го состояния в j-е состояние). Каждый переход характеризуется вероятностью перехода P_{ij}. Вероятность P_{ij} показывает, как часто после попадания в i-е состояние осуществляется затем переход в j-е состояние. Конечно, такие переходы происходят случайно, но если измерить частоту переходов за достаточно большое время, то окажется, что эта частота будет совпадать с заданной вероятностью перехода. При этом, у каждого состояния сумма вероятностей всех переходов (исходящих стрелок) из него в другие состояния должна быть всегда равна 1. Реализация Марковского процесса (процесс его моделирования) представляет собой вычисление последовательности

(цепи) переходов из состояния в состояние [5].

Чтобы определить, в какое новое состояние перейдет процесс из текущего i-го состояния, достаточно разбить интервал [0; 1] на подинтервалы величиной P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, … ($P_{i1} + P_{i2} + P_{i3} + \ldots = 1$). Далее с помощью генератора случайных чисел надо получить очередное равномерно распределенное в интервале [0; 1] случайное число r_{pp} и определить, в какой из интервалов оно попадает.

Особенности задачи моделирования. Принимается, что всевозможные состояния двигателя вертолета Ми-8МТВ представляют собой непрерывный процесс, следовательно, каждый переход из i-го состояния в j-е состояние характеризуется плотностью вероятности перехода λ_{ij}, определяемой по формуле [4]:

$$\lambda_{ij} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{P_{ij}(\Delta t)}{\Delta t}. \quad (1)$$

К интенсивности переходов (здесь это понятие совпадает по содержанию с распределением плотности вероятности по времени t) переходят, когда процесс непрерывный, то есть распределенный во времени [6].

Зная интенсивность λ_{ij} появления событий, порождаемых потоком, можно сымитировать случайный интервал между двумя событиями в этом потоке, причем:

$$\tau_{ij} = -\frac{1}{\lambda_{ij}} \ln R; \quad (2)$$

где τ_{ij} – интервал времени между нахождением системы в i-м и j-м состоянии.

Очевидно, что система с любого i-го состояния может перейти в одно из нескольких состояний j, $j + 1$, $j + 2$, ..., связанных с ним переходами λ_{ij}, $\lambda_{ij} + 1$, $\lambda_{ij} + 2$ ... К j-му состояния она перейдет через τ_{ij}; к ($j + 1$)-му состоянию она перейдет через $\tau_{ij} + 1$; к ($j + 2$)-му состоянию она перейдет через $\tau_{ij} + 2$ и т.д. Ясно, что система может перейти из i-го состояния только в одно из этих состояний, причем в то, переход к которому наступит раньше. Поэтому из последовательности времени: τ_{ij}, $\tau_{ij} + 1$, $\tau_{ij} + 2$ и т.д. надо выбрать минимальное и определить индекс j, который указывает, в какое именно состояние состоится переход [4–6].

Моделирование работы двигателя вертолета Ми-8МТВ. Промоделируем работу двигателя вертолета Ми-8МТВ, который может находиться в следующих состояниях: S_0 – работа двигателя в режиме холостого хода; S_1 – работа двигателя при номинальном режиме работы; S_2 – двигатель исправный, перенастройка $\lambda_{02} < \lambda_{21}$; S_3 – двигатель неисправный, идет ремонт $\lambda_{13} < \lambda_{30}$.

Зададим значения параметров λ, применив экспериментальные данные, которые получены в процессе летных испытаний вертолета: λ_{01} – поток работы двигателя при номинальном режиме работы (без перенастройки); λ_{10} – поток технического обслуживания двигателя; λ_{13} – поток отказа двигателя; λ_{30} – поток обновлений. Реализация имеет вид, представленный на рис. 1.

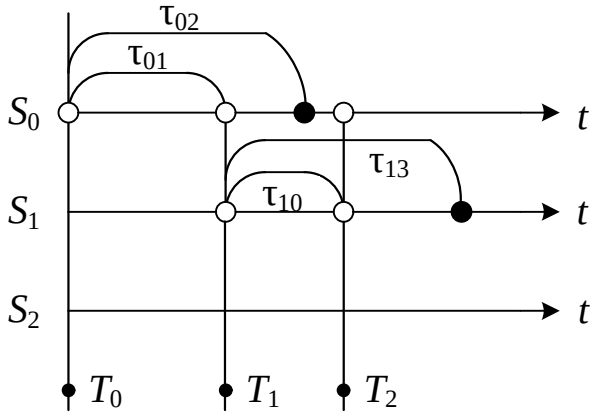


Рис. 1. Моделирование беспрерывного Марковского процесса с визуализацией на временной диаграмме (черным цветом обозначены запрещенные, белым – реализованные состояния)

В частности, из рис. 1 видно, что реализованная цепь выглядит так: S_0–S_1–S_0–… Переходы осуществились в следующие моменты времени: T_0–T_1–T_2–T_3–…, где $T_0 = 0$, $T_1 = \tau_{01}$, $T_2 = \tau_{01} + \tau_{10}$.

Основной задачей моделирования является получение беспрерывного Марковского процесса при имитации работы двигателя вертолета Ми-8МТВ при его эксплуатации в реальных режимах работы, то есть определение времени переходов из одного режима работы двигателя в другой всех возможных вариантах, параметры которых заданы величинами S и λ [7].

Алгоритм имитации будет иметь вид, представленный на рис. 2, где

$$\tau_{01} = -\frac{1}{\lambda_{01}} \ln R;\ \tau_{13} = -\frac{1}{\lambda_{13}} \ln R;\ \tau_{20} = -\frac{1}{\lambda_{20}} \ln R;$$

$$\tau_{02} = -\frac{1}{\lambda_{02}} \ln R;\ \tau_{10} = -\frac{1}{\lambda_{10}} \ln R;\ \tau_{21} = -\frac{1}{\lambda_{21}} \ln R.$$

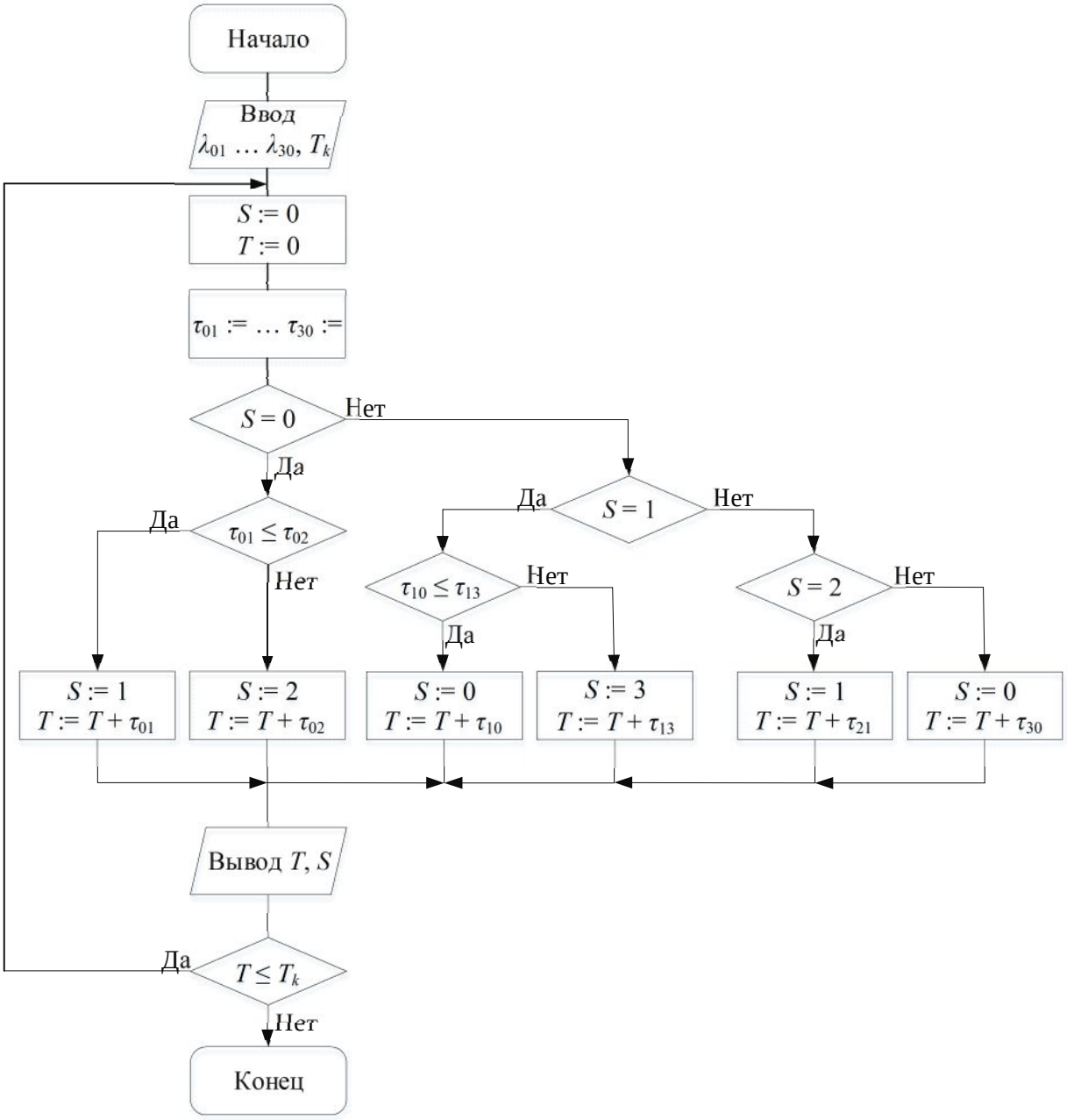


Рис. 2. Блок-схема алгоритма моделирования беспрерывного Марковского процесса на примере имитации работы двигателя вертолета Ми-8МТВ

Поскольку определено, что двигатель вертолета в условиях летных испытаний может находиться в четырех состояниях: S_0 – работа двигателя на холостом ходе, S_1 – двигатель работает в номинальном режиме, S_2 – двигатель исправный, идет перенастройка, S_3 – двигатель неисправен. Согласно этим данным, можно получить дискретную сеть Маркова, опираясь на следующие возможные переходные состояния: S_0 – S_1, S_1 – S_0, S_0 – S_3, S_1 – S_3, S_2 – S_0, S_2 – S_1, S_2 – S_3, S_3 – S_2, при этом необходимо учитывать вероятность пребывания двигателя в каждом из вышеперечисленном состоянии (рис. 3).

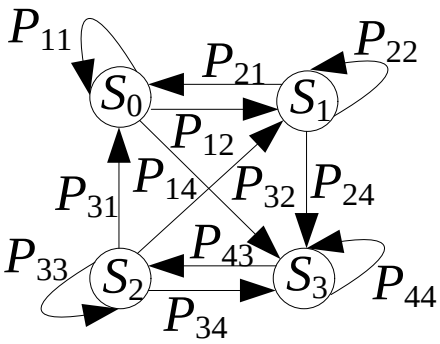


Рис. 3. Дискретная сеть Маркова, показывающая всевозможные изменения состояния двигателя вертолета Ми-8МТВ в условии летных испытаний

Согласно рис. 3, матрица переходных вероятностей имеет вид:

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & 0 & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & 0 & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ 0 & 0 & P_{43} & P_{44} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Для нахождения вероятностей пребывания Марковской цепи в определенных состояниях при $n \to \infty$ (финальные вероятности) решим систему уравнений, которая будет иметь вид:

$$\begin{cases} P_{11}\pi_1 + P_{21}\pi_2 + P_{31}\pi_3 = \pi_1; \\ P_{12}\pi_1 + P_{22}\pi_2 + P_{32}\pi_3 = \pi_2; \\ P_{33}\pi_3 + P_{43}\pi_4 = \pi_3; \\ P_{14}\pi_1 + P_{24}\pi_2 + P_{34}\pi_3 + P_{44}\pi_4 = \pi_4. \end{cases} \quad (4)$$

В матричном виде система (4) будет иметь вид:

$$\pi = P^T\pi \text{ или } (P^T - E)\pi = 0;$$

где $P^T = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{21} & P_{31} & 0 \\ P_{12} & P_{22} & P_{32} & 0 \\ 0 & 0 & P_{33} & P_{43} \\ P_{14} & P_{24} & P_{34} & P_{44} \end{pmatrix}$ – транспонированная матрица;

$E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ – единичная матрица.

Добавим к этому уравнению условие нормировки вида:

$$\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1. \quad (5)$$

Таким образом, $P^T - E = \begin{pmatrix} P_{11} - 1 & P_{21} & P_{31} & 0 \\ P_{12} & P_{22} - 1 & P_{32} & 0 \\ 0 & 0 & P_{33} - 1 & P_{43} \\ P_{14} & P_{24} & P_{34} & P_{44} - 1 \end{pmatrix}$.

Заменив четвертую строку матрицы (P^T – E) на единичную строку, то есть

$$P^T - E = \begin{pmatrix} P_{11}-1 & P_{21} & P_{31} & 0 \\ P_{12} & P_{22}-1 & P_{32} & 0 \\ 0 & 0 & P_{33}-1 & P_{43} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$, решим систему линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} (P_{11}-1)\pi_1 + P_{21}\pi_2 + P_{31}\pi_3 = 0; \\ P_{12}\pi_1 + (P_{22}-1)\pi_2 + P_{32}\pi_3 = 0; \\ (P_{33}-1)\pi_3 + P_{43}\pi_4 = 0; \\ \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1; \end{cases} \quad (6)$$

решив которую, получаем:

$$\pi_1 = \frac{-P_{21}P_{32}P_{43} - P_{31}P_{43}(P_{22}-1)}{(P_{11}-1)\left((P_{22}-1)(P_{33}-P_{43}-1+P_{32}P_{43})\right) - P_{21}\left(P_{12}(P_{33}-P_{43}-1+P_{32}P_{43})\right) + P_{31}\left(-P_{12}P_{43}+P_{43}(P_{22}-1)\right)}$$

$$\pi_3 = \frac{-P_{43}(P_{11}-1)(P_{22}-1) + P_{12}P_{21}P_{43}}{(P_{11}-1)\left((P_{22}-1)(P_{33}-P_{43}-1+P_{32}P_{43})\right) - P_{21}\left(P_{12}(P_{33}-P_{43}-1+P_{32}P_{43})\right) + P_{31}\left(-P_{12}P_{43}+P_{43}(P_{22}-1)\right)}$$

$$\pi_4 = \frac{(P_{11}-1)(P_{22}-1)(P_{33}-1) - P_{12}P_{21}(P_{33}-1)}{(P_{11}-1)\left((P_{22}-1)(P_{33}-P_{43}-1+P_{32}P_{43})\right) - P_{21}\left(P_{12}(P_{33}-P_{43}-1+P_{32}P_{43})\right) + P_{31}\left(-P_{12}P_{43}+P_{43}(P_{22}-1)\right)}$$

В результате решения (6) получены выражения для определения элементов вектора вероятностей состояния $\pi(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4)$ (показывает вероятность того, что двигатель будет находиться в *i*-м состоянии), что позволит при наличии значений переходных вероятностей $P_{11}\ldots P_{33}$ получить прогностические показатели изменения состояния двигателя вертолета Ми-8МТВ. Как видно из системы (6), для определения вероятности отказа двигателя π_4 достаточно лишь знать переходные вероятности для трех других состояний, а также переходные вероятности P_{34}, P_{43}, которые можно получить в результате технической диагностики вертолета и других статистических данных.

Принимается, что в идеальном состоянии (двигатель без изъяна), вероятность его работы в режиме холостого хода и на номинальном режиме составляет 1,0, то есть $P_{11} = P_{22} = 1$. Вероятность перехода из режима холостого хода в номинальный режим и наоборот тоже равна 1,0, поскольку оператор может в любой момент времени беспрепятственно изменять режимы его работы, то есть $P_{12} = P_{21} = 1$. Перенастройка двигателя не имеет эксплуатационного смысла, однако могут корректироваться точечные изменения, то есть $P_{33} = 0{,}1$. Следовательно, переход после перенастройки как в режим холостого хода, так и в номинальный режим будет составлять 0,9, то есть $P_{31} = P_{32} = 1 - 0{,}1 = 0{,}9$. Вероятность отказа двигателя принимается равной 0,1 % – это связано с браком или профессиональной ошибкой конструкторов при сборке конструкции двигателя ($P_{44} = 0{,}001$) [6], а, следовательно и переходные вероятности, связанные с перенастройкой двигателя после выявления его отказа или неполадок, составляют $P_{43} = 1 - 0{,}001 = 0{,}999$. Переходные вероятности, связанные с переходом в работу двигателя в состояние холостого хода и/или в номинальный режим работы, равны нулю, так как после выявления неполадки, что привело к отказу работы двигателя, двигатель отправляется на ремонт, на перенастройку и т.д., то есть $P_{41} = P_{42} = 0$.

Переходные вероятности, связанные с отказом двигателя при его работе как в режиме холостого хода, так и в номинальном режиме, составляют 99,9 % (учитывается описанный выше брак при сборке двигателя), то есть $P_{14} = P_{24} = 1 - 0{,}999 = 0{,}001$.

Учитывая человеческий фактор при облуживании авиационных двигателей [6], принимается, что после перенастройки двигателя вследствие профессиональной ошибки обслуживающего персонала, вероятность отказа может составлять 1 %, то есть $P_{34} = 0{,}01$.

Зададим матрицу переходных вероятностей:

```
>> p=[1.000 1.000 0 0.001; 1.000 1.000 0 0.001; 0.900 0.900 0.100 0.010; 0.999 0.999 0.999 0.001]
p =    1.000 1.000 0.000 0.001
1.000 1.000 0.000 0.001
0.900 0.900 0.100 0.010
0.999 0.999 0.999 0.001
```

Далее создадим начальный вектор и на каждом шаге переписываем значение нового вектора в старый, вычисляем новый вектор как умножение старого вектора на матрицу переходных вероятностей, вычисляем среднеквадратическое отклонение между старым и новым векторами и записываем в массив. Так выполняем 10…15 шагов и выводим график среднеквадратического отклонения и конечный вектор.

```
>> vectorNew=[1 0 0 0]
vectorNew = 1 0 0 0
```

```
>> vectorOld=vectorNew
vectorOld = 1 0 0 0
>> vectorNew=vectorOld*p
vectorNew = 1.000 1.000 0.000 0.001
>> var = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
var = 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
>> var(1)=std(vectorNew-vectorOld)
var = 0.0652 0 0 0 0 0 0 0 0 0
>> vectorOld=vectorNew;
vectorNew=vectorOld*p;
var(2)=std(vectorNew-vectorOld)
var = 0.0652 0.0428 0 0 0 0 0 0 0 0
…
>> vectorOld=vectorNew;
vectorNew=vectorOld*p;
var(10)=std(vectorNew-vectorOld)
var = 0.0652 0.0428 0.0287 0.0200 0.0151 0.0102 0.0084 0.0047 0.0026 0.0012
>> vectorNew
vectorNew = 0.9196 0.9196 0.0107 0.0029
>> plot(var)
```

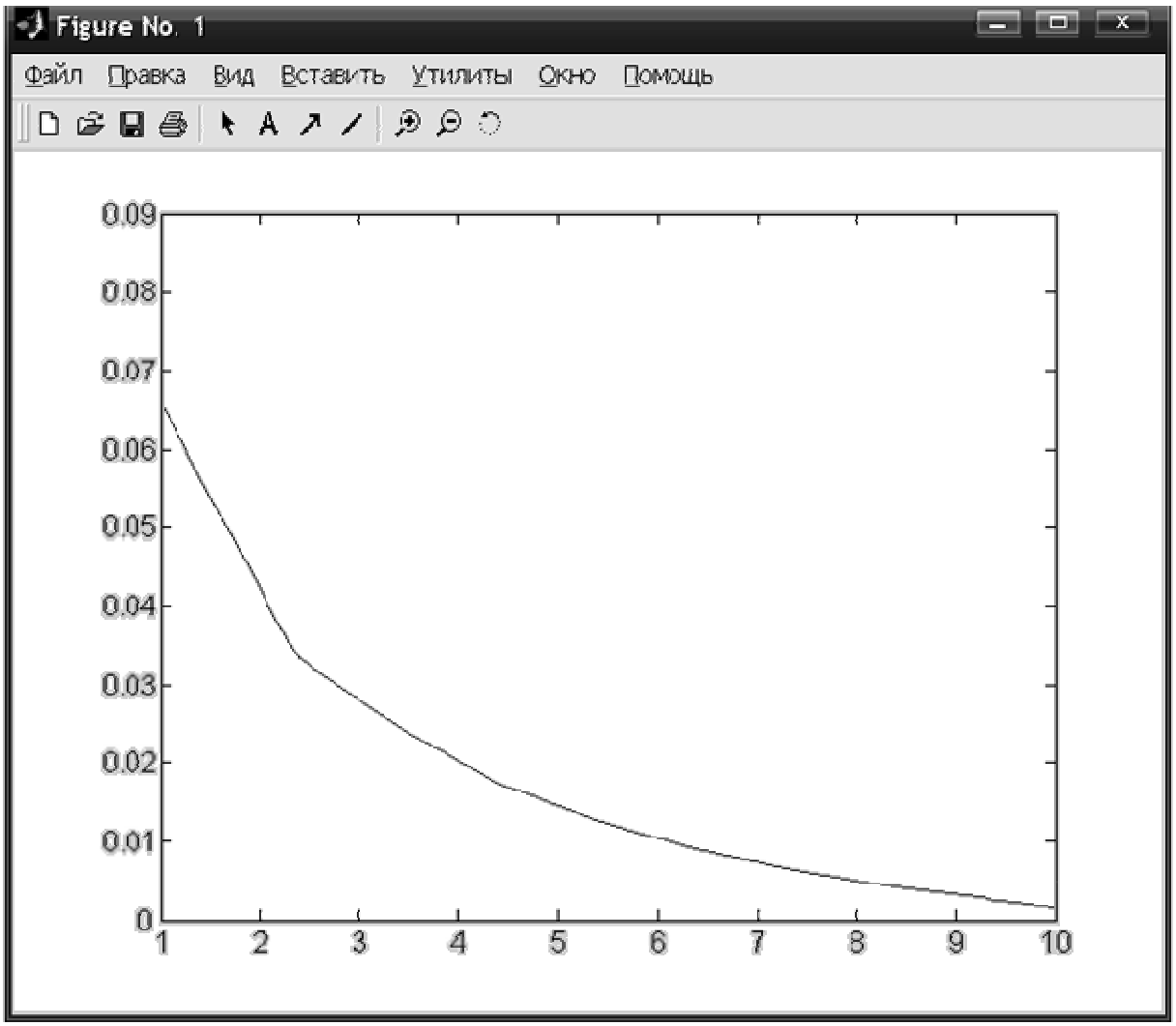


Рис. 4. График среднеквадратического отклонения при идеальном состоянии двигателя

График позволяет анализировать отклонение значений между исходным вектором-матрицей *P* и полученным вектором путем численного моделирования Марковской цепи в программной среде MathLAB при идеальном состоянии двигателя. Информативность данного графика заключается в том, что путем сравнения данного графика для «идеального двигателя» и диагностируемого двигателя, можно определить среднюю степень отклонения его работы от «нормальной» путем применения статистической обработки данных по двум графикам.

Для получения аналитического решения транспонируем матрицу переходных вероятностей, далее вычтем единичную матрицу такого же размера, то есть:

```
>> pTrans=p'
pTrans =
1.000 1.000 0.900 0.999
1.000 1.000 0.900 0.999
0.000 0.000 0.100 0.999
0.001 0.001 0.010 0.001
>> pTrans=pTrans-eye(4,4)
pTrans =
0.000 1.000 0.900 0.999
1.000 0.000 0.900 0.999
0.000 0.000 -0.900 0.999
0.001 0.001 0.010 -0.999
>> pTrans
pTrans =
0.000 1.000 0.900 0.999
1.000 0.000 0.900 0.999
0.000 0.000 -0.900 0.999
1.000 1.000 1.000 1.000
>> vector = linsolve(pTrans, [0; 0; 0; 1])
vector =
0.92080
0.92080
0.01080
0.00292
```

Абсолютная и относительная погрешности полученных значений вектора вероятностей состояния $\pi(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4)$ при численном моделировании Марковской цепи и аналитическим решением составили:

$\Delta\pi_1 = |0{,}9196 - 0{,}9208| = 0{,}0012;$ $\delta\pi_1 = \dfrac{|0{,}9196 - 0{,}9208|}{0{,}9196} \cdot 100\% = 0{,}13\%;$

$\Delta\pi_2 = |0{,}9196 - 0{,}9208| = 0{,}0012;$ $\delta\pi_2 = \dfrac{|0{,}9196 - 0{,}9208|}{0{,}9196} \cdot 100\% = 0{,}13\%;$

$\Delta\pi_3 = |0{,}0107 - 0{,}0108| = 0{,}0001;$ $\delta\pi_3 = \dfrac{|0{,}0107 - 0{,}0108|}{0{,}0107} \cdot 100\% = 0{,}93\%;$

$\Delta\pi_4 = |0{,}0029 - 0{,}00292| = 0{,}00002;$ $\delta\pi_4 = \dfrac{|0{,}0029 - 0{,}00293|}{0{,}0029} \cdot 100\% = 0{,}69\%.$

Как видно из полученных результатов, относительная погрешность полученных значений вектора вероятностей состояния при численном моделировании Марковской цепи и аналитическим решением не превысила 1 %, что является подтверждением адекватности полученных результатов.

Выводы

1. В работе получен график среднеквадратичных отклонений вектора вероятностей состояния $\pi(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4)$ при идеальном состоянии двигателя (новый двигатель, выпущенный с завода), который является информационной моделью определения отказа при его сравнении с графиком, полученным в результате летных испытаний.

2. Реализованный в программном пакете MathLAB как алгоритм построения данного графика, так и алгоритм определения вектора вероятностей состояния $\pi(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4)$, показывает вероятность того, что двигатель будет находиться в *i*-м состоянии. В работе получено следующее значение данного вектора π(0,9196 0,9196 0,0101 0,0029), значение элемента π_3 объясняется возможной точечной перенастройкой, а π_4 – человеческим фактором при сборке и обслуживании двигателя.

Литература

1. Коптев А. Н. Авиационное и радиоэлектронное оборудование воздушных судов гражданской авиации [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / А. Н. Коптев ; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. (164 Мбайт). – Самара, 2011.

2. Інформаційні технології забезпечення конструктивно-експлуатаційних властивостей повітряних

суден та авіаційних двигунів / С. О. Дмитрієв, О. В. Попов, Д. В. Попов, Г. О. Арістов // Вестник двигателестроения. – 2015. – № 2. – С. 67–72.

3. Формування програм технічного обслуговування авіаційних двигунів / С. О. Дмитрієв, В. І. Бурлаков, О. В. Попов, Д. В. Попов // Авиационно-космическая техника и технологии. – 2013. – № 7 (104). – С. 190–194.

4. Формалізація процедур та визначення оптимальних програм технічного обслуговування повітряних суден та авіаційних двигунів / С. О. Дмитрієв, В. І. Бурлаков, О. В. Попов, Д. В. Попов // Авиационно-космическая техника и технологии. – 2014. – № 9 (116). – С. 177–181.

5. Моделирование марковских случайных процессов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://stratum.ac.ru/education/textbooks/modelir/lection33.html

6. Турбовальный двигатель ТВ3-117 : руководство по технической эксплуатации ; книга 1. – 1986. – 597 с.

7. Дмитрієв С. О. Людський фактор при технічному обслуговуванні авіаційної техніки : навчальний посібник / С. О. Дмитрієв. – К. : НАУ, 2011. – 184 с.

8. Літвіцький Л.О. Функціональні особливості організації декодера перешкодостійких кодів на основі штучних нейронних мереж / Л.О. Літвіцький, В.М. Чешун, В.І. Чорненький // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2015. – № 6 (231). – С. 154–156.

References

1. Koptev A. N. Aviacionnoe i radioehlektronnoe oborudovanie vozdushnyh sudov grazhdanskoj aviacii [Elektronnyj resurs] : ehlektron. ucheb. posobie / A. N. Koptev ; Minobrnauki Rossii, Samar. gos. aehrokosm. un-t im. S. P. Koroleva (nac. issled. un-t). – Elektron. tekstovye i graf. dan. (164 Mbajt). – Samara, 2011.

2. Informatsiini tekhnolohii zabezpechennia konstruktyvno-ekspluatatsiinykh vlastyvostei povitrianykh suden ta aviatsiinykh dvyhuniv / S. O. Dmytriiev, O. V. Popov, D. V. Popov, H. O. Aristov // Vestnyk dvyhatelestroenyia. – 2015. – № 2. – S. 67–72.

3. Formuvannia prohram tekhnichnoho obsluhovuvannia aviatsiinykh dvyhuniv / S. O. Dmytriiev, V. I. Burlakov, O. V. Popov, D. V. Popov // Avyatsyonno-kosmycheskaia tekhnyka y tekhnolohyy. – 2013. – № 7 (104). – S. 190–194.

4. Formalizatsiia protsedur ta vyznachennia optymalnykh prohram tekhnichnoho obsluhovuvannia povitrianykh suden ta aviatsiinykh dvyhuniv / S. O. Dmytriiev, V. I. Burlakov, O. V. Popov, D. V. Popov // Avyatsyonno-kosmycheskaia tekhnyka y tekhnolohyy. – 2014. – № 9 (116). – S. 177–181.

5. Modelirovanie markovskih sluchajnyh processov [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : http://stratum.ac.ru/education/textbooks/modelir/lection33.html

6. Turboval'nyj dvigatel' TV3-117 : rukovodstvo po tekhnicheskoj ehkspluatacii ; kniga 1. – 1986. – 597 s.

7. Dmytriiev S. O. Liudskyi faktor pry tekhnichnomu obsluhovuvanni aviatsiinoi tekhniky : navchalnyi posibnyk / S. O. Dmytriiev. – K. : NAU, 2011. – 184 s.

8. Litvitskyi L.O. Funktsionalni osoblyvosti orhanizatsii dekodera pereshkodostiikykh kodiv na osnovi shtuchnykh neironnykh merezh / L.O. Litvitskyi, V.M. Cheshun, V.I. Chornenkyi // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – Khmelnytskyi : KhNU, 2015. – № 6 (231). – S. 154–156.

Рецензія/Peer review : 13.02.2018 р. Надрукована/Printed :28.03.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.39 + 621.38.049.77

А.А. ТАРАНЧУК
Хмельницький національний університет

БАГАТОПАРАМЕТРОВИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ НА ОСНОВІ СТРИБКОПОДІБНОГО ЗБУДЖЕННЯ РУХОМОГО МЕМС -ЕЛЕМЕНТА

У роботі запропонований багатопараметровий вимірювальний перетворювач на основі рухомого МЕМС-елемента з електростатичним керуванням із стрибкоподібним збудженням. Отримані характеристики перетворення двопараметрового вимірювального перетворювача у багатомірному базисі, шляхом уведення в коливальний рух рухомих МЕМС – елементів за їх стрибкоподібного збудження перепадами напруги. На основі запропонованого підходу розглянуто особливості проектування датчика, призначеного для вимірювання температури та тиску. Проведено моделювання вимірювального перетворювача в системі MATLAB та отримані його градуювальні характеристики.

Ключові слова: МЕМС - конденсатор, матричний рухомий електрод, електростатичне керування, двопараметровий вимірювальний перетворювач

A.A. TARANCHUK
Khmelnytskyi National Universyty, Khmelnytskyi, Ukraine

MULTI- PARAMETER MEASURING TRANSDUCER, BASED ON JUMP- LIKE EXCITATION OF MOVABLE MEMS – ELEMENT

Abstract – In this work, a multi-parameter measuring transducer based on a movable MEMS-element with electrostatic control with jump - like excitation is proposed. Obtained characteristics of the transuding of a two-parameter measuring transducer in a multidimensional basis, by introducing into the oscillatory motion of movable MEMS-elements for their jump - like excitation by voltage transitions. Based on the proposed approach, the design of a sensor to measure temperature and pressure is constructed. Dynamic characteristics of the electrodes motion and simulate the signals at the output of the measuring transducer are obtained. The simulation of the measuring transducer in the MATLAB system was carried out and its calibration characteristics were obtained. The proposed measuring transducer has low power consumption, works at a low level of shock control voltage (0, 1 ... 0, 5) and in pulse mode. The two-parameter sensor is characterizing by high accuracy of measurements. The theoretically determined relative error of temperature measurement is 0, 95%, of the pressure - 0,05%.

Keywords: MEMS-capacitor, matrix movable electrode, electrostatic control, two-parameter measuring transducer

Вступ

Вимірювальні перетворювачі різних фізичних величин на основі MEMS – технологій широко застосовуються практично в усіх сферах життєдіяльності людини: в аерокосмічній, автомобілебудівній, хімічній промисловості й інших. Вони є основними елементами безпроводових сенсорних мереж, численних систем контролю й моніторингу, різноманітного медичного обладнання та систем навігації [1-7].

Їх робота базується на різних фізичних принципах перетворення енергії фізичних величин в інформаційний сигнал. Найбільш інтенсивно, на теперішній час, застосовуються ємнісні датчики з електростатичним керуванням. Це пояснюється їх відносною простотою та малою споживаною потужністю, а також тим, що на основі ємнісного електричного MEMS – перетворювача можуть бути побудовані датчики різних фізичних величин: для прямих вимірювань переміщення, хімічного складу, електричних полів, непрямих вимірювань багатьох інших величин, які можуть бути перетворені в переміщення, таких як тиск, прискорення, вологість, рівень та склад рідини. На теперішній час МЕМС - електростатичні датчики, які суміщають у собі електронну та механічну частини є одними з перспективних електромеханічних перетворювачів, що використовуються при проектуванні й конструюванні різних вимірювальних приладів [8-11].

Постановка завдання

Сучасні вимоги щодо підвищення точності вимірювання, надійності та масогабаритних показників (мікромініатюризації) електронно-вимірювальних систем обумовлюють пошук нових принципів та конструкцій вимірювальних перетворювачів фізичних величин. Вельми перспективним у даному напрямку є використання електростатичних вимірювальних перетворювачів побудованих за МЕМС – технологією з керованими рухомими електродами. Використання таких ємнісних датчиків дозволяє побудувати різні параметричні перетворювачі неелектричних величин, в тому числі і багатопараметрові, зокрема датчики, призначені для одночасного вимірювання температури та тиску. Особливо цікавим є використання режимів "ударного" збудження рухомих електродів перепадами напруги, що дозволяє підвищити лінійність, розширити діапазон вимірювань та зменшити енергоспоживання.

Мета роботи є формування багатомірного вихідного базису двопараметрового МЕМС-вимірювального перетворювача, шляхом уведення в коливальний рух його матричних рухомих електродів (МРЕ) шляхом їхнього стрибкоподібного збудження перепадами напруг.

1. Основний розділ

Вимірювальний MEMS – перетворювач з електростатичним управлінням у найпростішому випадку являє собою двоелектродний конденсатор, один з електродів якого жорстко закріплений, а інший –

переміщується відносно нього під дією напруги керування та інших факторів $\Phi_i(t)$, параметри яких необхідно вимірювати. У таких перетворювачах використовується залежність ємності конденсатора від відстані між його електродами, площі електродів і діелектричної проникливості середовища між ними [10].

Застосування теорії багатостороннього перетворювача О.О. Харкевича дозволяє створити багатоелементну вимірювальну систему на базі MEMS-технології – багатопараметровий (двопараметровий) вимірювальний перетворювач (БВП), який здатен вимірювати одночасно декілька фізичних величин (рис.1). Конструктивне рішення засновано на принципі застосування матричного рухомого електрода (МРЕ) з роздільно керованими електродами [12].

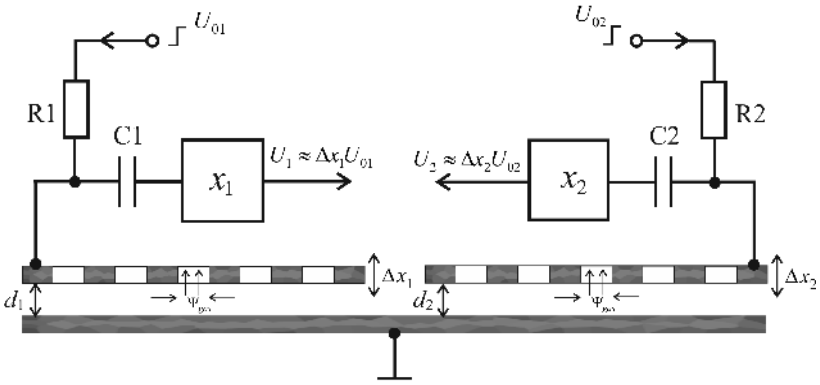


Рис.1. Двопараметровий перетворювач тиску та температури

Кожен елементарний електрод МРЕ із загальним нерухомим електродом, утворює ємнісний електростатичний перетворювач. При цьому на всі елементарні електроди впливають одні й ті самі фактори, наприклад, температура $\theta(t)$, вібрація $a(t)$, тиск $P(t)$, акустичний сигнал $A(t)$. Елементарні електроди характеризуються різними конструктивними параметрами, такими як: площа поверхні S_j, маса m_j, жорсткість підвісу k_j, коефіцієнт демпфірування b_j, власна частота механічного резонансу w_{0j}.

Застосуємо теорію багатостороннього перетворювача О. О. Харкевича для побудови моделі БВП, що описує поведінку кожного елементарного перетворювача у вигляді системи диференційних рівнянь. Для БВП з N елементарними електродами, що вимірює N параметрів фізичних величин $\Phi_i(t)$ система диференційних рівнянь у загальному вигляді може бути представлена наступним чином [12]:

$$m_j \frac{d^2 x_j}{dt^2} + b_j \frac{dx_j}{dt} + k_j x_j = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S_j}{2}\left(\frac{U_{0j}}{d_j - x_j}\right)^2 + \sum_{i=1}^{N-1} f\{\Phi_j(t)\}; \text{ де } j = \overline{1,N}, \quad (1)$$

де x_j – зміщення рухомого j-го електрода відносно початкового положення, U_{0j} – величина стрибкоподібної напруги, яка викликає переміщення рухомого електроду з початкового положення в задане. Перехідний процес, що при цьому виникає, характеризується загасаючим коливанням з частотою w_{0j}.

Таким чином, вихідний сигнал $U_{вих}$, який знімається з рухомого електроду, несе в собі інформацію про зміну величини зміщення кожного елементарного рухомого електроду під дією параметрів $\Phi_i(t)$, тобто

$$U_{вих\ j}\left(f\{\Phi_i(t)\}, t\right) = g(x_j, t) \Rightarrow x_j(t) = f\{U_{вих}(t)\}. \quad (2)$$

Тоді

$$\frac{d^2 x_j}{dt^2} = \frac{d^2}{dt^2} f\{U_{вих\ j}(t)\}; \ \frac{dx_j}{dt} = \frac{d}{dt} f\{U_{вих\ j}(t)\}. \quad (3)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (1) з урахуванням (2, 3), отримуємо величини $\Phi_i(t)$, що вимірюються.

На основі запропонованого підходу розглянемо проектування датчика, призначеного для вимірювання температури $\theta(t)$ та тиску $P(t)$. Відповідно до (1) запишемо модель для датчика з двома елементарними електродами:

$$m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} + b_1 \frac{dx_1}{dt} + k_1 x_1 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S_1}{2}\left(\frac{U_{01}}{d_1 - x_1}\right)^2 + \Delta P(t) S_1 - \left[\left(\frac{\alpha_{11}\delta_{11}}{C_{p11}} + \frac{\alpha_{12}\delta_{12}}{C_{p12}}\right) T_0 k_1 x_1 - \theta\right] \frac{k_1}{R_{T1}}\left(\frac{\alpha_{11}\delta_{11}}{C_{p11}} + \frac{\alpha_{12}\delta_{12}}{C_{p12}}\right) \quad (4)$$

$$m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} + b_2 \frac{dx_2}{dt} + k_2 x_2 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S_2}{2}\left(\frac{U_{02}}{d_2 - x_2}\right)^2 + \Delta P(t) S_2 - \left[\left(\frac{\alpha_{21}\delta_{21}}{C_{p21}} + \frac{\alpha_{22}\delta_{22}}{C_{p22}}\right) T_0 k_2 x_2 - \theta\right] \frac{k_2}{R_{T2}}\left(\frac{\alpha_{21}\delta_{21}}{C_{p21}} + \frac{\alpha_{22}\delta_{22}}{C_{p22}}\right),$$

де δ_{j1}, δ_{j2} – відповідно товщина шару золота та полікремнію $j-$го рухомого елементарного

електрода, виконаного за технологією *MUMP*; α_{j1}, α_{j2} - коефіцієнти теплового розширення золота та полікремнію; R_{Tj} - тепловий опір $j-$го рухомого електрода; T_0 - температура навколишнього середовища при нормальних умовах; θ - зміна температури, ΔP - різниця тиску.

Коефіцієнт демпфірування b_j в даному випадку складається з двох компонентів – коефіцієнта механічного демпфірування системи b_S та коефіцієнта демпфірування за рахунок стиснутої плівки газу, що знаходиться між паралельними електродами, b_{gas}:

$$b_j = b_S + b_{gas}, \tag{5}$$

де b_S визначається механічним опором системи [13]:

$$b_S(T) = \frac{U_{0j}}{2}\left[\frac{1}{(d_j - x_j)p} - \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S_j}{(d_j - x)^2 T_0 R_{Tj}}\right], \quad p = \frac{d}{dt}; \tag{6}$$

b_{gas} за аналогією з (6) можна визначити наступним чином:

$$b_{gas} = b_m(L_e, W_e) + b_n(S, S_{отв}, N_{отв}), \tag{7}$$

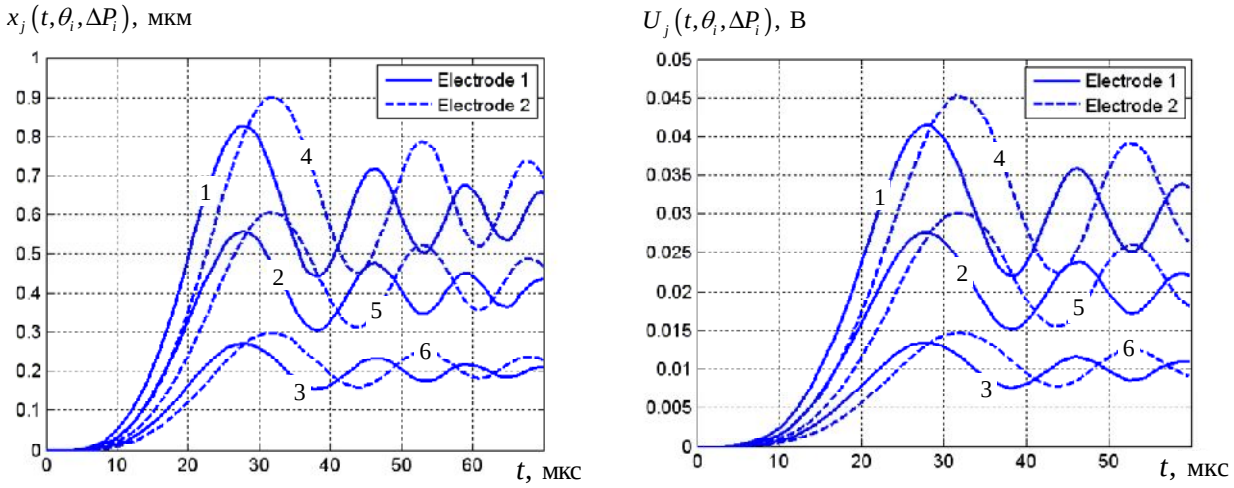
де $b_m(L_e, W_e) = \eta(L_e - 0{,}6W_e)\cdot W_e^{\,3}$; $b_n(S, S_{отв}, N_{отв}) = \frac{12\eta S^2}{N_{отв}\pi}\left(\frac{S_{отв}}{2S} - \frac{S_{отв}^{\;2}}{2S^2} - \frac{1}{4}\ln\left(\frac{S_{отв}}{S}\right) - \frac{3}{8}\right)$;

$W_e = S_e / L_e$; $L_e = \left(C_e + \sqrt{C_e^{\,2} - 16S_e}\right)\Big/4$; $S_e = S - S_{tp} - \pi r^2(N_1 + N_2 - 1)$; $N_{отв} = (N_1 - 1)(N_2 - 1)$;

$S_{отв} = \pi r^2$; $S_{tp} = N_{отв} p_{отв}^2$; $C_e = 2\left(L_1 + (N_1 - 1/2)\pi r\right) + 2\left(L_2 + (N_2 - 1/2)\pi r\right)$, r – радіус отвору перфорації мембрани, N_1, N_2, – кількість отворів уздовж сторін прямокутної мембрани з довжинами L_1, L_2 відповідно, $p_{отв}$ – крок між отворами, S – повна площа мембрани без вирахування отворів, $\eta = \frac{\eta_0}{1 + 9{,}638K_n^{\,1.159}}$ – коефіцієнт в'язкості, $K_n = \frac{P\cdot\lambda}{P_0\cdot d}$ – коефіцієнт Кнудсена, λ – довжина вільного пробігу молекули газу.

Розв'язання рівнянь (4) за допомогою методу скінчених різниць дозволяє отримати динамічну характеристику переміщення рухомих електродів і, таким чином, змоделювати сигнали на виході ВБП [14]. На рис. 2, а представлені динамічні характеристики зсуву двох елементарних електродів під дією стрибкоподібної зміни напруги U_{0j}, температури θ, і тиску P.

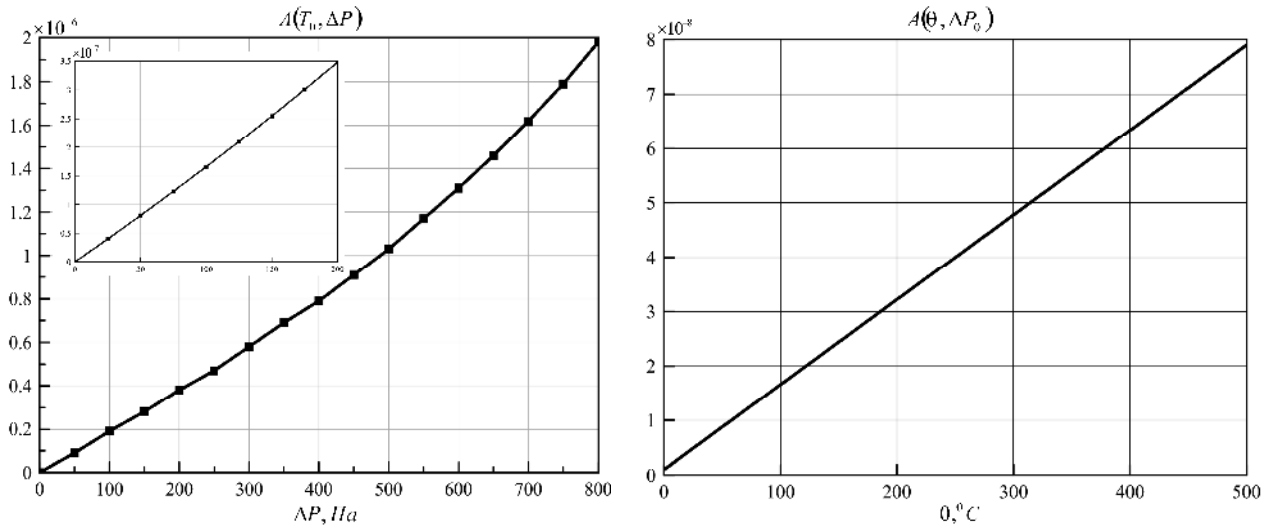
Таким чином, кожний окремий рухомий електрод (мембрана) під дією ударної напруги U_{0j} здійснює вакуумний рух, що несе в собі інформацію про θ, і ΔP, що діють на БВП. При цьому кожен окремий елементарний перетворювач може виступати як однопараметровий вимірювальний перетворювач [15].



а) б)

Рис.2 – Динамічні характеристики двоелектродного БВП під дією стрибкоподібного збудження: зміщення x_j рухомого j-го електроду (а) та вихідна напруга U_j (б) для ΔP =1500 Па, θ =200°С (1,4); ΔP =1000 Па, θ =200°С (2,5); ΔP =500 Па, θ =100°С (3,6)

На рис. 3, а,б представлені градуювальні характеристики, відповідно, для вимірювального перетворювача тиску P при $T_0 = const$ і температури T при відомому значенні тиску $P_0 = const$.



а) б)

Рис. 3. Грудуювальні характеристики для вимірювального перетворювача тиску ΔP (а) та температури θ (б)

Як видно, градуювальна характеристика вимірювача тиску (рис.3,а,б) має незначну нелінійність, яка проявляється зі збільшенням діапазону вимірювання. У той же час, в діапазоні $\Delta P \in [0;200]$ Па градуювальна характеристика за тиском і температурою практично лінійна (рис. 3,а фрагмент).

Для реалізації двопараметрового датчика вимірювання тиску P і температури T на основі (4) запишемо систему рівнянь, яка дозволить отримати квазістатичне рішення [16]:

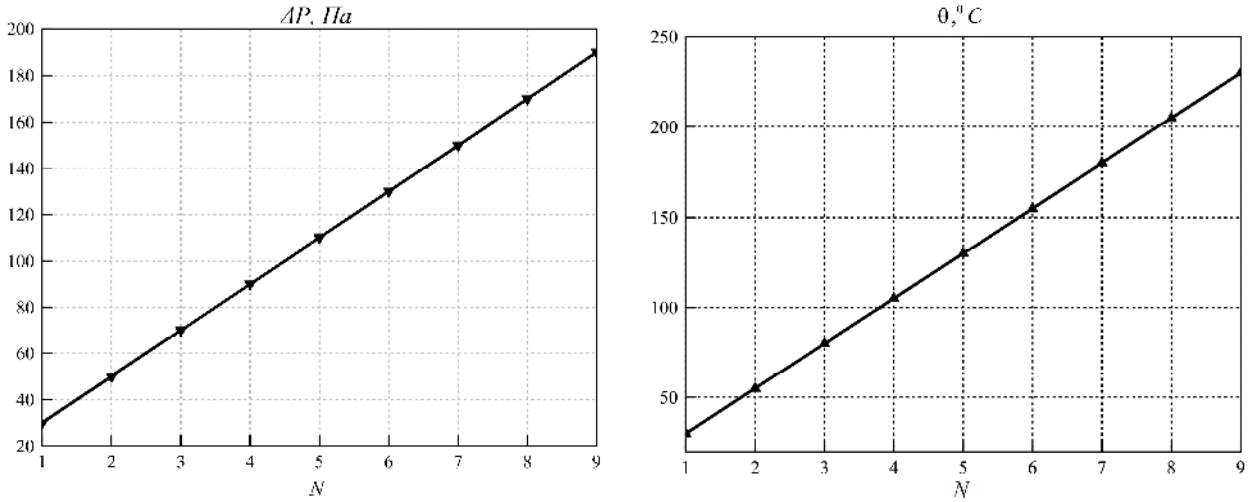
$$\Delta P_i S_1 + \theta_i \frac{k_1}{R_{T1}} \left(\frac{\alpha_{11}\delta_{11}}{C_{p11}} + \frac{\alpha_{12}\delta_{12}}{C_{p12}} \right) = k_1 \frac{A_{1i}(\theta_i, \Delta P_i)}{G_1} - \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S_1}{2} \left(\frac{U_{01}}{d_1 - \frac{A_{1i}(\theta_i, \Delta P_i}{G_1}} \right)^2 + \left(\frac{\alpha_{11}\delta_{11}}{C_{p11}} + \frac{\alpha_{12}\delta_{12}}{C_{p12}} \right)^2 \frac{k_1^2}{R_{T1}} T_0 \frac{A_{1i}(\theta_i, \Delta P_i)}{G_1} ; \quad (9)$$

$$\Delta P_i S_2 + \theta_i \frac{k_2}{R_{T2}} \left(\frac{\alpha_{21}\delta_{21}}{C_{p21}} + \frac{\alpha_{22}\delta_{22}}{C_{p22}} \right) = k_2 \frac{A_{2i}(\theta_i, \Delta P_i)}{G_2} - \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S_2}{2} \left(\frac{U_{02}}{d_2 - \frac{A_{2i}(\theta_i, \Delta P_i}{G_2}} \right)^2 + \left(\frac{\alpha_{21}\delta_{21}}{C_{p21}} + \frac{\alpha_{22}\delta_{22}}{C_{p22}} \right)^2 \frac{k_2^2}{R_{T2}} T_0 \frac{A_{2i}(\theta_i, \Delta P_i)}{G_2}$$

де G_1, G_2 - нормуючі коефіцієнти або функції, $i = \overline{1, M}$ - вимір у певний момент часу.

На рис. 4 а,б приведені визначені відповідно (9) зміни тиску ΔP та зміни температури θ на і-му замірі, а також дійсні значення ΔP і θ.

При цьому, похибка визначення температури складає θ = (1…2)°C за похибки визначення змін тиску ΔP = (0,02…0,06) Па, що вважається допустимим для багатопараметрових датчиків тиску і температури даного типу.



а) б)

Рис. 4. Результати визначення змін тиску ΔP (а) та зміни температури θ (б) за допомогою БВП (прямою лінією показані дійсні значення).

Висновки

Таким чином, запропонований вимірювальний перетворювач зі стрибкоподібним збудженням рухомого МЕМС- елемента з електростатичним керуванням, окрім багатофункціональності, має наступні переваги перед існуючими вимірювальними перетворювачами.

1. Мале енергоспоживання. Багатопараметровий ВП працює в імпульсному режимі при низькому рівні ударної керуючої напруги (0,1…0, 5) В та не потребує додаткового джерела гармонійного сигналу як у резонансних ВП.

2. Характеризується більш високою точністю вимірювань: теоретично визначена відносна похибка вимірювання температури складає 0, 95%, тиску – 0,05%.

3. Має меншу нелінійність та більш широкий діапазон вимірювання (за рахунок низьких керуючих напруг) у порівнянні з ємнісними ВП інших типів.

Література

1. R. Aigner, K-G. Oppermann, H. Kapels, S. Kolb. “Cavity- Micromachining” Technology: Zero-Package Solution for Inertial Sensors // Proc. ll"1 Int. Conf. On Solid-state Sensors and Actuators, Munchen, Germany, June 10-14 – 2001. –Vol. 1. – Pp. 186-189.

2. M. Ylimaula, M. Aberg, J. Kiihamaki, H. Ronkainen. Monolithic SOI-MEMS capacitive pressure sensor with standard bulk CMOS readout circui / Proc. Solid-State Circuits Conference, 2003. ESSCIRC ’03. Proceedings of the 29th European, 2005. – Pp. 145-154.

3. A. Taranchuk. Controlled Oscillator on the Base of MEMS – Structures / A. Taranchuk, V. Mishan, A. Akulinechev // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunication and Computer Science : Procedings of the Xth International Conference TCSET’2010 February 23-27, 2010. – Lviv - Slavske, Ukraine. – P. 350.

4. Yafan Zhang; S. Massoud-Ansari; Guangqing Meng; Woojin Kim; N. Najafi. An ultra-sensitive, high-vacuum absolute capacitive pressure sensor / Technical Digest. MEMS 2001. 14th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (Cat. No.01CH37090), 2001.– Pp: 166 – 169.

5. Iftekhar Ibne Basith; Nabeeh Kandalaft; Rashid Rashidzadeh. Built-In Self-Test for Capacitive MEMS Using a Charge Control Technique / 2010 19th IEEE Asian Test Symposium, 2010. – Pp. 135 – 140.

6. Duck-Bong Seo, Robin Shandas. Design and simulation of MEMS- based comb- drive pressure sensor for pediatic post-operative monitoring applications, 2003 Summer Bioengineering Conf., June 25-29, Sonesta Beach Resort in Key Biscayne, Florida. – Pp. 1239 -1240.

7. F. L. Lewis. Wireless Sensor Networks, to appear in smart environments: Technologies, Protocols, and Applications. - New York, 2004. – Pp.1-18.

8. Gilbert J. R. 3D Coupled Electro–mechanics for MEMS: Applications of CoSolve–EM / J. R. Gilbert, R. Legtenberg and S. D. Senturia // MEMS’95. – Pp. 122–127.

9. Alla Taranchuk, Sergey Pidchenko. Frequency Measuring Transducers Based on the Piezoresonance Oscillator Systems with External MEMS Control. International Journal of Sensors and Sensor Networks. – Science Publishing Group: NEW YORK, U.S.A., 2013. - Vol. 1, No. 4. – Pp. 41-49.

10. Dec A. Micromachined electro–mechanically tunable capacitors and their applications to RF IC’s / A. Dec, K. Suyama // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – Dec. 1998. – Vol. 46, No.12. – Pp. 2587–2596.

11. Таранчук А. А. Пьезорезонансные измерительные преобразователи с внешним MEMS-управлением / А. А. Таранчук, С. К. Підченко, В. В. Мішан // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2013. – № 3. – С. 37-43.

12. Харкевич А. А. Теория электроакустических преобразователей : избр. труды : в 3 т. Т. 1 /

А. А. Харкевич. – М. : Наука, 1973. – 400 с.

13. P G Steeneken, Th G SM Rijks, J T M van Beek, M J E Ulenaers, J De Coster and R Puers. Dynamics and squeeze film gas damping of a capacitive RF MEMS switch // Journal of Micromechanics and Microengineering, 2004 – Vol. 15 – No. 1. – P.p. 176-184.

14. Колпаков Ф. Ф. Динамическое моделирование электростатически управляемого MEMS-конденсатора в диапазоне рабочих температур (293...323) К. / Ф. Ф. Колпаков, Н. Г. Борзяк // Изв. высш. учеб. зав. Радиоэлектроника, серия 1. – 2008. – № 51. – С. 33–42.

15. Колпаков Ф. Ф. Тепловое моделирование MEMS-конденсатора с электростатическим управлением / Ф. Ф. Колпаков, Н. Г. Борзяк // Вісн. технол. ун-ту Поділля. : Ч. 1. - Т. 2 : Технічні науки. – Хмельницький, 2005. – № 4.– С. 37–41.

16. Колпаков Ф. Ф. Квазистатические характеристики системы двухэлектродных MEMS-конденсаторов / Ф. Ф. Колпаков, Н. Г. Борзяк // Радиотехника. – 2007. – № 148. – С. 245 – 249.

References

1. R. Aigner, K-G. Oppermann, H. Kapels, S. Kolb. “Cavity- Micromachining” Technology: Zero-Package Solution for Inertial Sensors // Proc. ll"1 Int. Conf. On Solid-state Sensors and Actuators, Munchen, Germany, June 10-14 – 2001. –Vol. 1. – Pp. 186-189.

2. M. Ylimaula, M. Aberg, J. Kiihamaki, H. Ronkainen. Monolithic SOI-MEMS capacitive pressure sensor with standard bulk CMOS readout circui / Proc. Solid-State Circuits Conference, 2003. ESSCIRC ’03. Proceedings of the 29th European, 2005. ¬– Rp. 145-154.

3. 3. A. Taranchuk. Controlled Oscillator on the Base of MEMS – Structures / A. Taranchuk, V. Mishan, A. Akulinechev // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunication and Computer Science : Procedings of the Xth International Conference TCSET’2010 February 23-27, 2010. – Lviv - Slavske, Ukraine. – P. 350.

4. Yafan Zhang; S. Massoud-Ansari; Guangqing Meng; Woojin Kim; N. Najafi. An ultra-sensitive, high-vacuum absolute capacitive pressure sensor / Technical Digest. MEMS 2001. 14th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (Cat. No.01CH37090), 2001.– Pr: 166 – 169.

5. Iftekhar Ibne Basith; Nabeeh Kandalaft; Rashid Rashidzadeh. Built-In Self-Test for Capacitive MEMS Using a Charge Control Technique / 2010 19th IEEE Asian Test Symposium, 2010. – Pr. 135 – 140.

6. Duck-Bong Seo, Robin Shandas. Design and simulation of MEMS- based comb- drive pressure sensor for pediatic post-operative monitoring applications, 2003 Summer Bioengineering Conf., June 25-29, Sonesta Beach Resort in Key Biscayne, Florida. – Pp. 1239 -1240.

7. F. L. Lewis. Wireless Sensor Networks, to appear in smart environments: Technologies, Protocols, and Applications. - New York, 2004. – Pp.1-18.

8. Gilbert J. R. 3D Coupled Electro–mechanics for MEMS: Applications of CoSolve–EM / J. R. Gilbert, R. Legtenberg and S. D. Senturia // MEMS’95. – Pp. 122–127.

9. Alla Taranchuk, Sergey Pidchenko. Frequency Measuring Transducers Based on the Piezoresonance Oscillator Systems with External MEMS Control. International Journal of Sensors and Sensor Networks. – Science Publishing Group: NEW YORK, U.S.A., 2013. - Vol. 1, No. 4. – Pp. 41-49.

10. Dec A. Micromachined electro–mechanically tunable capacitors and their applications to RF IC’s / A. Dec, K. Suyama // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – Dec. 1998. – Vol. 46, No.12. – Pp. 2587–2596.

11. Taranchuk A. A. P’ezorezonansnye izmeritel’nye preobrazovateli s vneshnim MEMS-upravleniem / A. A. Taranchuk, S. K. Pidchenko, V. V. Mishan // Vimirjuval’na ta obchisljuval’na tehnika v tehnologichnih procesah. – Hmel’nic’kij, 2013. – № 3. – S. 37-43.

12. Harkevich A. A. Teorija jelektroakusticheskih preobrazovatelej : izbr. trudy : v 3 t. T. 1 / A. A. Harkevich. – M. : Nauka, 1973. – 400 s.

13. P G Steeneken, Th G SM Rijks, J T M van Beek, M J E Ulenaers, J De Coster and R Puers. Dynamics and squeeze film gas damping of a capacitive RF MEMS switch // Journal of Micromechanics and Microengineering, 2004 – Vol. 15 – No. 1. – P.p. 176-184.

14. Kolpakov F. F. Dinamicheskoe modelirovanie jelektrostaticheski upravljaemogo MEMS-kondensatora v diapazone rabochih temperatur (293...323) K. / F. F. Kolpakov, N. G. Borzjak // Izv. vyssh. ucheb. zav. Radiojelektronika, serija 1. – 2008. – № 51. – S. 33–42.

15. Kolpakov F. F. Teplovoe modelirovanie MEMS-kondensatora s jelektrostaticheskim upravleniem / F. F. Kolpakov, N. G. Borzjak // Visn. tehnol. un-tu Podillja. : Ch. 1. - T. 2 : Tehnichni nauki. – Hmel’nic’kij, 2005. – № 4.– S. 37–41.

16. Kolpakov F. F. Kvazistaticheskie harakteristiki sistemy dvuhjelektrodnyh MEMS-kondensatorov / F. F. Kolpakov, N. G. Borzjak // Radiotehnika. – 2007. – № 148. – S. 245 – 249.

Рецензія: 27.03. 2018.03.27
Рецензент: д.т.н., проф. кафедри телекомунікацій та комп’ютерно-інтегрованих технологій
Підченко С.К.

ОБМІН ПРАКТИЧНИМ ДОСВІДОМ, ТЕХНОЛОГІЯМИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

УДК 331.108.3

Л.Г. КОВАЛЬ, М.В. БАЧИНСЬКИЙ, І.О. КРИВОРУЧКО, С.М. ГОНЧАРУК
Вінницький національний технічний університет

ОСОБЛИВОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПРОЦЕСУ ПРОФЕСІЙНОГО ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНОГО ВІДБОРУ ПЕРСОНАЛУ

В роботі розглядаються особливості розробки систем інформаційної підтримки процесу професійного психофізіологічного відбору персоналу. Розглянута та класифікована проблема захисту людини від небезпек в різних умовах її існування. Визначено, що у більшості випадків причиною виникнення надзвичайної ситуації є людський фактор. Для зниження цього показника необхідна розробка інформаційних систем для підтримки професійної діяльності людини. Основою інформаційної підтримки можна вважати інформаційне середовище, яке сформоване на базі двох взаємодіючих просторів представлених професійною діяльністю і простору представленого суб'єкта діяльності. Також розглянуто проблему професійного психологічного відбору та формування її заключень.

Ключові слова: відбір персоналу, система, інформаційна підтримка, надзвичайні ситуації.

L.G. KOVAL, M.V. BACHINSKY, I.O. KRIVORUCHKO, S.M. GONCHARUK
Vinnytsia National Technical University

FEATURES OF INFORMATIONAL PROMOTION OF PROFESSIONAL PSYCHOPHYSIOLOGICAL SELECTION OF PERSONAL

Peculiarities of the development of systems of information support of the process of professional psychophysiological selection of personnel are considered. The problem of protection of the person from dangers in different conditions of its existence is considered and classified. It has been determined that in most cases the cause of an emergency is a human factor. To reduce this indicator, it is necessary to develop information systems to support human professional activities. The basis of information support can be considered the information environment, which is formed on the basis of two interacting spaces represented by the professional activities and space represented entity. The problem of professional psychological selection and formation of its conclusions is also considered. The choice of a particular solution in response to received information can be interpreted as a sensory-motor response to a complex operative image of the workstation, represented by LO. In critical situations, such a reaction should be brought to automatism in order to avoid serious consequences and accidents. Such automatism is achieved through long-term training not only LO, but all service personnel, since for the successful resolution of situations, the coordination of the actions of all participants is required. A multidimensional test experiment provides a number of benefits: possible account of all factors, which control is necessary during the experiment, is carried out by measuring the set of accompanying features, the independence of which is not predetermined; From a methodological point of view, the strategy of a multidimensional experiment is constructed in such a way as not to reveal a certain set of vivid manifestations of personality, but to reveal the important functional and structural connections underlying such manifestations.

Keywords: selection of personnel, system, information support, emergency situations.

Вступ

Проблема захисту людини від небезпек в різних умовах його існування набуває з кожним роком нові відтінки і в значній мірі визначається рівнем ідентифікації тієї чи іншої небезпеки. Однією зі складових небезпек є надзвичайні ситуації, які носять техногенний, природний, біолого-соціальний характер або терористична акція. Відповідно, класифікувати небезпеки можна за такими ознаками [1]:

- за походженням – природні, техногенні, соціальні, політичні, зовнішні;
- за часом проявлення наслідків – імпульсні, кумулятивні;
- за локалізацією – пов'язані з атмосферою, мітосферою, гідросферою, космосом;
- за наслідками – травми, захворювання, аварії, утоплення, пожежі, загибель;
- за збитками – соціальні, технічні, екологічні;
- за структурою – прості, складні, виробничі;
- за характером впливу на людину – активні, пасивні.

Стан проблеми

При цьому, всі небезпеки носять потенційний характер, а умови, при яких реалізуються, називаються причинами. Відповідно, ситуації, що виникають при небезпеці можуть бути розділені на безпечні, локальної або короткочасної небезпеки, небезпечні і умовно безпечні (рис. 1) [2]:

На рис. 2, 3 наведено схеми ситуаційного взаємозв'язку людини і навколишнього середовища.

Основний текст статті

В останні роки однією з найбільш частих причин виникнення надзвичайної ситуації називають людський фактор, багатогранний термін, що описує можливість прийняття людиною помилкових або алогічних рішень в конкретних ситуаціях. При цьому, абсолютна більшість помилок є ненавмисними і людина виконуючи їх, розцінює свої дії найбільш вірними та адекватними. До числа основних причин, що сприяють помилковим діям людини, відносять такі:

- недоліки інформаційного забезпечення (підтримки) виробничої діяльності людини, відсутність

обліку людського фактора;

- помилки, що викликані зовнішніми факторами;
- помилки, які викликані фізичним і психологічним станом і властивостями людини;
- обмеженість ресурсів підтримки і виконання прийнятого рішення;
- відсутність достовірного контролю за якістю прийняття рішень і їх виконанням.

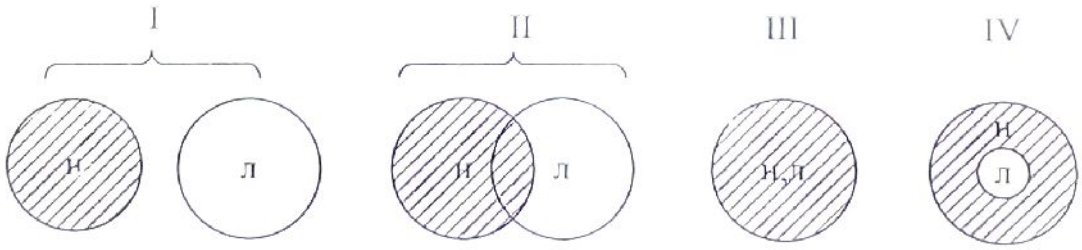


Рис. 1. Варіанти взаємного положення зони небезпеки (н) і людини (л):
I – безпечна ситуація; II – ситуація короткочасної або локальної небезпеки;
III – небезпечна ситуація; IV – умовно безпечна ситуація [2]

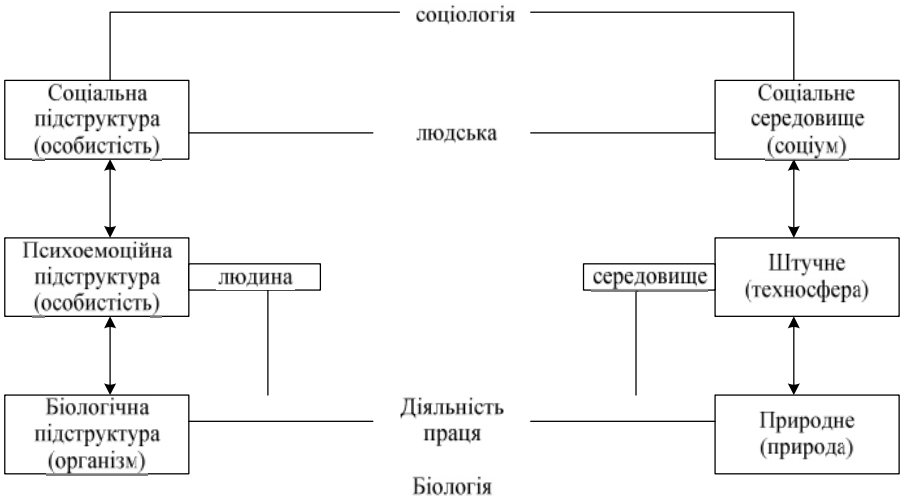


Рис. 2. Взаємозв'язок людини і природи (схема) [1]

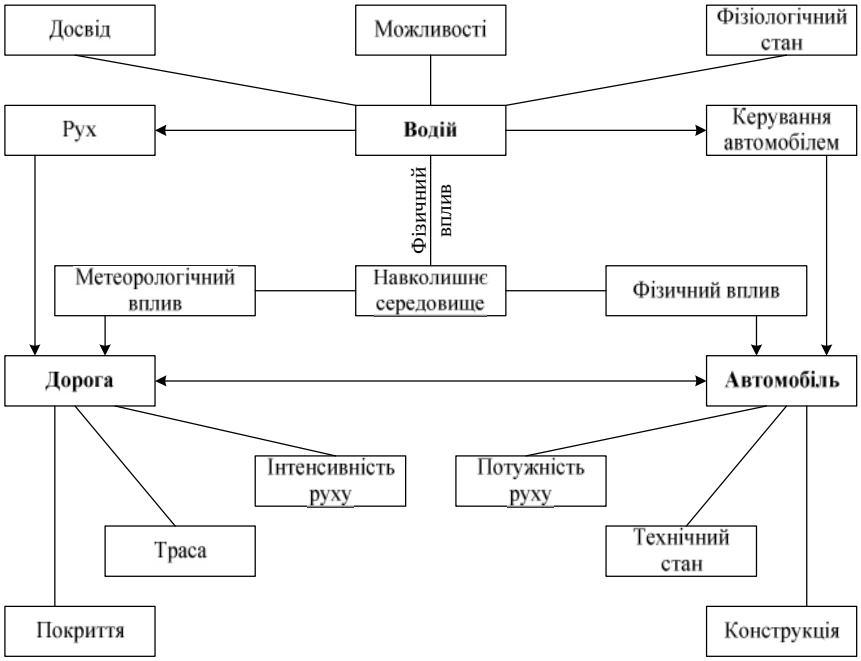


Рис. 3. Схема системи «водій–автомобіль–дорога–середовище» [1]

Саме відсутність або неадекватна інформаційна підтримка зумовлені низькою надійністю професійної діяльності людини і навпаки. Серед безлічі існуючих понять надійної професійної діяльності слід виділити два, досить близькі не тільки за кінцевою метою, а за змістом. За Татенко О. В. (2002 р.) –

психологічна та психофізіологічна надійність працівника органів внутрішніх справ, це сукупність якостей і властивостей особистості, що зумовлює стан змобілізованості психіки, функціональних резервів організму працівника до безпосереднього здійснення найбільш доцільних, безпомилкових та рішучих дій в складних чи небезпечних для життя і здоров'я ситуаціях, дотримання правових чи етичних стандартів поведінки в умовах виконання функціональних обов'язків і в побуті. Н. М. Мельник [3] в 2012 році запропонував більш узагальнене, за змістом визначення терміну: «надійність професійної діяльності – це властивість суб'єкта, що характеризує його здатність продуктивно, з незмінно високим коефіцієнтом корисної дії з мінімальними енергетичними та тимчасовими витратами вирішувати актуальні професійні завдання протягом усього життя, еволюційно розвиваючи свої здібності та сферу професійної діяльності при пропорційній зміні суспільних і особистісних потреб» [3].

Основою інформаційної підтримки можна вважати інформаційне середовище, яке сформоване на базі двох взаємодіючих просторів представлених професійною діяльністю і простору представленого суб'єкта діяльності. При цьому, автор вважає, що представлення – це функція кодування [3].

Іншими словами, інформаційна підтримка професійної діяльності – це локальний інформаційний простір, який об'єднує сукупність всіх елементів реальної професійної діяльності і безліч індивідуальних робочих функцій та функціональних можливостей суб'єкта в єдиний інформаційний процес, спрямований на досягнення поставленої мети. Базову структуру інформаційної підтримки складають чотири базових модуля: база даних, база знань, інтелектуальний інтерфейс і система підтримки прийняття рішень. Інший інформаційний інструментарій визначається метою і задачами, предметною областю і специфікою досягнення поставленої мети [4, 5].

Формування індивіда як особистості – динамічний процес, який протікає на протязі всього життя і його діяльність по суті представляє собою опосередкований процес взаємопереходів між об'єктом та об'єктними взаємовідношеннями. Завдяки дії внутрішніх і зовнішніх умов на фізіологічні механізми свідомості, формується особистісна предметна діяльність мислення з її внутрішніми рухомими протиріччями. Саме вони формують психіку, матеріалізуючись за допомогою інтелектуальних, рухових і комунікативних процесів у відношенні властивості і дії особистості [6].

Особистість представляє собою цілісну систему, що формується з сукупності психічних утворень і процесів, властивостей і станів, яка володіє певною гнучкістю. Наявність властивостей гнучкості дозволяє компенсувати окремі недостатньо розвинуті властивості за допомогою більш виражених. Сучасна діагностика психологічних особливостей дозоляє прогнозувати найбільш раціональний шлях трудового і суспільного життя, починаючи з вибору професії [6].

Суть професійного психологічного відбору може бути визначена, як виявлення характерних для індивіда стійких базових психологічних, психофізіологічних і соціально-психологічних властивостей та порівняння їх з тими, які необхідні для успішного володіння визначеною професійною діяльністю і подальшого ефективного виконання посадових обов'язків [7].

Проблема професійного психологічного відбору зводиться до вирішення двох основних задач: визначення необхідних потреб, які пред'являються до людини тієї чи іншої професії та оцінці наявності у конкретної людини індивідуально — психологічних, професіонально важливих якостей, які дозволяють їй успішно освоювати і здійснювати діяльність, не тільки індивідуально, але і в складі колективу.

Доцільність і можливість проведення відбору зумовлена наявністю відносно стійких індивідуальних відмінностей між людьми, які можуть бути настільки значними, що деякі індивіди не дивлячись на достатнє здоров'я і активне прагнення оволодіти визначеною діяльністю, не можуть досягти необхідної професійної майстерності. Вони не тільки значно довше інших, але і з великими труднощами опановують професійну діяльність і працюють гірше інших, частіше допускають помилки і прорахунки, являються винуватцями аварій і в цілому володіють меншою надійністю в роботі [7].

Основою предметної області професійного психологічного відбору являється психологічних статус людини.

Психологічний статус – інтегральна властивість людини, яка представляє собою системне проявлення стійких базових психологічних властивостей, властивостей психофізіологічних і соціально – психологічних. Ця інтегральна властивість включає в себе особистісну, операційну і адаптивно-ресурсну складову. Особистісна складова побудовано виходячи з самосвідомості людини (потреб, мотивів, інтересів, інших прагнень), інтелектуальних та інших можливостей, темпераменту і характеру [7].

Операційна складова включає в себе пізнавальні і сенсорні процеси, пов'язані з ними психічні утворення (образи, поняття, представлення, програми дій), а також регуляторні функції (емоції, воля, увага), які забезпечують об'єднання всіх процесів і утворень в цілісну функціональну систему і здійснення керування діяльністю [7].

Адаптивно-ресурсна складова – це сукупність фізіологічних і психічних процесів, які складають основу психічної активності і забезпечують пристосування організму до середовища і характеру діяльності [7].

За результатами професійного психологічного відбору складається одне з наступних заключень про професійну придатність кандидатів і військовослужбовців [7]:

а) рекомендується в першу чергу – перша категорія.

До них відносяться кандидати, які можуть успішно оволодіти даною конкретною спеціальністю в

установлені строки і успішно виконувати в подальшому запропоновані функції при навчанні, роботі на техніці і так далі. Ці особи мають повну відповідність психофізіологічних властивостей і можливостей з потребами, які пред'являють до них відповідно спеціальності [7];

б) рекомендується – друга категорія;

Особи, що входять в цю групу, можуть допускати в процесі роботи за спеціальністю незначні помилки, які не мають істотного впливу на ефективність використання військово-технічних систем. Ці помилки частіше всього можуть бути пов'язані з змінами умов діяльності, виявленням не представлених раніше функцій, ускладненням обстановки. У таких спеціалістів мають місце деякі зниження резервних можливостей організму [7];

в) рекомендується умовно – третя категорія.

Результати психологічного вивчення і психофізіологічного обстеження особового складу являються основою для вироблення рекомендацій командирам частин і підрозділів про раціональне використання військовослужбовців і для проведення психокорекційних заходів фахівцями медичної служби.

Як показує досвід та розробки вітчизняних і зарубіжних авторів (Донченко В. Г., 1999; Майдіков Ю. Л., Соколов О. В., 2001; Шевцова В. М., 1998; Donaldson M. S., 1998; Grandolfo M. E., 1998 та інші) важливими заходами, що сприяють збереженню високої працездатності та ефективності діяльності працівників в умовах підвищеної небезпеки є також психофізіологічний супровід професійної діяльності та психофізіологічна реабілітація. Перелічені складові доцільно об'єднати в єдиній державній системі професійного психофізіологічного відбору працівників, які виконують роботи підвищеної небезпеки (СППВП). Така розвинена система психофізіологічних заходів орієнтована на вирішення проблеми "людського фактору" при виконанні робіт підвищеної небезпеки і повинна забезпечити зниження кількості аварій і катастроф з причини помилок виконавців, сприяти профілактиці професійного травматизму і захворюваності, покращенню екологічного стану середовища. Для розробки і впровадження СППВП необхідно вирішити ряд актуальних проблем, що потребують наукового вивчення та організаційного вирішення. Важливим є наукове дослідження і поширення нових знань, вітчизняного і закордонного досвіду, розробка єдиних, уніфікованих вимог, критеріїв, принципів і механізмів ефективного проведення ППВ та застосування інших психофізіологічних заходів. Потребують також розробки та нормативно-правового регулювання питання організації та проведення обстеження і психофізіологічної експертизи працівників, які виконують роботи підвищеної небезпеки, сертифікації та атестації підрозділів СППВП і спеціалістів з метою забезпечення належної якості роботи фахівців у самій системі та багато інших питань [8].

Багато видів діяльності людини в сучасному технологічному світі пов'язано з обслуговуванням і керуванням складними технічними комплексами за допомогою інформаційних систем. В таких системах людина, зазвичай, виконує функції людини-оператора (ЛО) і від його готовності до роботи залежить якість і ефективність всього комплексу і цілому. Відповідальність, яка покладається на ЛО, змушує розробляти спеціальні тестові системи для контролю готовності людини до роботи. Центральне місце при визначенні рівня підготовки технічного спеціаліста до практичної робот займає опитування, статистичні тестові методики, які виконуються індивідуально та інші методи самооцінки, завдяки простоті інструментальних засобів і легкості отримання інформації. Вони дозволяють виявити не тільки рівень знань, але багато професійно важливих якостей, таких як особливості зорового і слухового апарату, моторної діяльності, більшість психофізіологічних характеристик особистості, психологічну стійкість і так далі [4, 9].

Поведінка людини в реальній ситуації складна і визначається подібною безліччю складних зовнішніх і внутрішніх факторів. Тому на його рішення впливає вся інформація, що надходить до нього: про стан керованого ним комплексу, параметри зовнішнього середовища, його робочого оточення, стан здоров'я, готовність до роботи, рівень володіння навичками вирішення професійних завдань т. д. Внаслідок цього звичні системи відображення інформації стають громіздкими і вимагають від ЛО спеціальної підготовки в їх використанні [9].

Вибір певного рішення у відповідь на інформацію, що поступає можна трактувати як сенсомоторну реакцію на складний оперативний образ робочої станції, представлений ЛО. У критичних ситуаціях така реакція повинна бути доведена до автоматизму, щоб уникнути серйозних наслідків і аварій. Подібний автоматизм досягається шляхом тривалих тренувань не тільки ЛО, але всього обслуговуючого персоналу, оскільки для успішного вирішення ситуацій необхідна узгодженість дій всіх учасників. Отже, можна говорити про своєрідну "сенсомоторну реакцію" колективу фахівців, зайнятих вирішенням спільної задачі. Таким чином доцільно передбачати не тільки тестові системи для оцінки параметрів однієї ЛО, а й розглядати такі навчаючі і контролюючі тестові системи, які дозволяють реєструвати показники для всього колективу одночасно працюючих спеціалістів [9].

Відзначені особливості є передумовами для створення систем тестування, для проведення необхідних досліджень в обстановці, близькій до реальної роботи, але таких, що використовують синтезовані інформаційні дані, які представляються ЛО (або групою) на тих же пристроях відображення, що і пристрої реальних комплексів.

Багатовимірний тестовий експеримент забезпечує низку переваг [9]:

- можливий облік всіх факторів, контроль яких необхідний в процесі експерименту, проводиться шляхом вимірювання безлічі супутніх ознак, незалежність яких заздалегідь не визначена;

Висновок

З методологічної точки зору стратегія багатовимірного експерименту будується таким чином, щоб не стільки виявити певний набір яскравих проявів особистості, скільки розкрити важливі функціональні і структурні зв'язки, що лежать в основі таких проявів.

Література

1. Окружающая среда и техническая безопасность [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://mizznanii.com/a/298756/okruzhaushaya-sreda-i-teknog/ennaya-bezopasnost

2. Studfiles.ru [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.studfiles.ru/previev/5170805/page3

3. Интелектуально-информационная поддержка надежной профессиональной деятельности субъекта / Н. М. Мельник // Вектор науки ТГУ. – 2012. – № 4(22). – С. 410–414.

4. Мельник Н. М. Концепция эволюционно-деятельного профессионального образования / Мельник Н. М., Нестеренко В. М. – М. : ВЛАДОС, 2007. – 270 с.

5. Мельник Н. М. Средства правления надежностью профессиональной деятельности выпускника ВУЗа / Н. М. Мельник // Высшие образование сегодня. – 2008. – № 10. – С. 20–22.

6. Чиж И. М. Актуальные проблемы психофизиологического обеспечения военно-професиональной деятельности / И. М. Чиж, Э. Г. Жиляев // Военно-медицинский журнал. – 1998. – № 3. – С. 4–10.

7. Методика отбора МО России [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://rg.ru/2014/12/19/metodika-dok.html

8. Автоматизированная система экспертного определения состояния здоровья – Эк 03-01. Проспект.

9. Попечителев Е. П. Биотехнические системы оценки уровня готовности к работе человека оператора / Е. П. Попечителев // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 22. – № 4-1 (22). – С. 13.

References

1. Okruzhayuschaya sreda i tehnicheskaya bezopasnost. URL: http://mizznanii.com/a/298756/okruzhaushaya-sreda-i-teknog/ennaya-bezopasnost

2. Studfiles.ru. URL: www.studfiles.ru/previev/5170805/page3

3. Intelektualno-informatsionnaya podderzhka nadezhnoy professionalnoy deyatelnosti sub'ekta / N. M. Melnik // Vektor nauki TGU, 2012, № 4(22), s. 410-414.

4. Melnik N. M. Kontseptsiya evolyutsionno-deyatelnogo professionalnogo obrazovaniya / Melnik N. M., Nesterenko V. M. M.: VLADOS, 2007, 270 s.

5. Melnik N. M. Sredstva pravleniya nadezhnostyu professionalnoy deyatelnosti vyipusknika VUZa // Vyisshie obrazovanie segodnya. 2008, № 10, s. 20-22.

6. Chizh I. M. Aktualnyie problemyi psihofiziologicheskogo obespecheniya voenno-profesionalnoy deyatelnosti / Chizh I. M., Zhilyaev E. G.// Voenno-meditsinskiy zhurnal, 1998. № 3, s. 4-10.

7. Metodika otbora MO Rossii. URL: https://rg.ru/2014/12/19/metodika-dok.html

8. Avtomatizirovannaya sistema ekspertnogo opredeleniya sostoyaniya zdorovya – Ek 03-01. Prospekt.

9. Popechitelev E. P. Biotehnicheskie sistemyi otsenki urovnya gotovnosti k rabote cheloveka operatora. //. Ynzhenernyi vestnyk Dona. – 2012. – T. 22. – № 4-1 (22). – S. 13.

Рецензія/Peer review : 14.02.2018 р. Надрукована/Printed :26.03.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 521.1:523.2:523.6:523.9:524.6:524.8:532.5.01:534.1:621.891

Ю.П. ЗАСПА
Хмельницький національний університет, e-mail: zaspa_yuriy@ukr.net

КОНТАКТНЕ ДИНАМО ЯК ГЕНЕРАТОР КООПЕРАТИВНИХ КОСМІЧНИХ ФОРМ РУХУ ТА МЕХАНІЗМ ОБ'ЄДНАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО, ГРАВІТАЦІЙНОГО, СИЛЬНОГО І СЛАБКОГО ПОЛІВ. ЧАСТИНА X. ПОРУШЕНА АНТИСИМЕТРІЯ, НЕТРИВІАЛЬНА ТОПОЛОГІЯ ТА НЕДЕТЕРМІНОВАНА ЕВОЛЮЦІЯ

Записані антисиметричні за своєю структурою рівняння для вектор-потенціалів, напруженостей та індукцій чотирьох фундаментальних полів: електромагнітного, гравітаційного, сильного і слабкого. Відмічено подвійне порушення антисиметрії поля в еволюції космічних систем: на етапі виникнення молодих полів (сильного і слабкого) та в зв'язку з домінуванням оберненого енергетичного каскаду (в сторону великих польових масштабів) над прямим каскадом, який веде до утворення матерії (квазістаціонарного дрібномасштабного поля). Розглядається топологія космічних польових форм руху, сформованих кооперативною взаємною трансформацією полів на основі збереження спіральності, градієнтності та змішаності поля. Нетривіальність такої топології виражається у здатності польових форм змінювати власні границі, формуючи свою еволюцію в контексті еволюції всіх. Це кардинально відрізняється від існуючих концепцій квантованих полів з тривіальною топологією та детермінованою еволюцією. Принцип динамічної кооперації виступає як альтернатива когерентності (сфазованості) та конкуренції мод, що нерідко ведуть до динамічного самознищення системи – флаттеру та баффтингу (в технічній термінології)

***Ключові слова**: фундаментальні поля, порушена антисиметрія, нетривіальна топологія, недетермінована еволюція, спіральність, градієнтність, змішаність, взаємоіндукція, динамічна кооперація, когерентність, сфазованість, конкуренція мод, флаттер, баффтинг.*

YU. P. ZASPA
Khmelnytsky National University, e-mail: zaspa_yuriy@ukr.net

CONTACT DYNAMO AS A GENERATOR OF COOPERATIVE COSMIC FORMS OF MOTION AND THE MECHANISM OF UNIFICATION OF THE ELECTROMAGNETIC, GRAVITATIONAL, STRONG AND WEAK FIELDS. PART X. ARE DISTURBED ANTISYMMETRY, NONTRIVIAL TOPOLOGY, AND NONDETERMINISTIC EVOLUTION

Antisymmetic by their structure of equation for the vector of potentials, strengthes and inductions of four fundamental fields are written: electromagnetic, gravitational, strong and weak. A double disturbance of the field's antisymmetry in the evolution of space systems has been noted: at the stage of the originating of new fields (strong and weak) and in the connection with the dominance of the inverse energy cascade (in the direction of large field scales) over a direct cascade that is leading to the formation of matter (a quasi-stable small-scale field). The topology of cosmic field forms of motion, formed by co-operative mutual transformation of fields, on the basis of the preservation of spirality, gradientness and field confinement is considered. The non-triviality of such a topology is expressed by the ability of field forms to change their own limits, forming their own evolution in the context of the evolution of everything. This is fundamentally different from the existing concepts of quantized fields with trivial topology and deterministic evolution. The principle of dynamic co-operation acts as an alternative to coherence and mode competition, which often leads to a dynamic system self-destruction - flutter and buffeting (in technical terminology).

***Key words:** fundamental fields, disturbed antisymmetry, non-trivial topology, nondeterministic evolution, spirality, gradientness, blend, mutual induction, dynamic co-operation, coherence, mode competition, flutter, buffeting.*

Вступ

Поняття симетрії є одним з найважливіших у фізиці. До нього прямо або ж опосередковано апелюють всі сучасні фізичні теорії [1–5]. Концепція спонтанної втрати симетрії є центральною в намаганнях об'єднати різні види фундаментальних взаємодій [1–5]. Сучасна фізика широко використовує також топологічні методи. Важливе поняття спіральності (гідродинамічної, магнітної, струмової, перехресної) має топологічне тлумачення, зокрема, у фізиці плазми, теорії турбулентності, астрофізиці [1, 6–10].

Помилка у симетрії і топології, по суті, означає цілковитий крах фізичної теорії та філософії, що лежить в її основі. З метою усунення таких помилок, притаманних домінуючим нині концепціям мікро- та макрокосмосу, доцільно звернутись до нової старої фізики [11], яка ґрунтується на традиціях давньокитайської та давньогрецької філософії і космогенезу. Нижче суттєво уточнюється та конкретизується метод єдиного описання чотирьох фундаментальних полів (електромагнітного, гравітаційного, сильного і слабкого) на основі аналізу їх симетрії , топології та еволюції.

Антисиметрія поля та її порушення

Антисиметрія як особливий вид симетрії, що включає додатковий двозначний параметр, займає вельми скромне місце в сучасній фізиці – переважно в кристалографії – поодаль від пантеону унітарних симетрій, що навипередки спонтанно порушуються [1–5]. Між тим, у відомій протягом тисячоліть інь-ян символіці давньокитайської філософії така антисиметрія грає ключову роль, як і фактор її початкового порушення на етапі виникнення молодих полів – сильного і слабкого. Таке порушення чітко фіксується різницею у символьних зображеннях молодих і старих полів [11]. Таким чином, доповнена молодими полями четвірка фундаментальних полів є системою з цілеспрямовано порушеною антисиметрією.

Рівняння поля за відсутності речовини

Суттєво коригуючи з цих позицій рівняння для сильного і слабкого полів [11], антисиметрично введемо напруженості $\vec{E}$ та індукції $\vec{B}$ для старих і молодих полів:

$$\vec{E} = -\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} - \vec{\nabla}(V^2/2)\,,\ \vec{B} = c \cdot rot\vec{V} \qquad (1, 2)$$

$$\vec{E} = +\frac{\partial \vec{V}}{\partial t}\,,\ \vec{B} = -c \cdot rot\vec{V} + \vec{\nabla}(V^2/2) \qquad (3, 4)$$

Рівняння (1, 2) записані для електромагнітного і гравітаційного полів, рівняння (3, 4) – для сильного і слабкого полів. Тут $\vec{V}$ – вектор-потенціал поля, який має розмірність швидкості [11], t – час, c – швидкість світла у вакуумі. Напруженості та індукції всіх полів вимірюються відповідно в одиницях прискорення. Перехід до звичних (для електромагнітного та гравітаційного полів) вектор-потенціалів, напруженостей та індукцій здійснюється через окремі калібрувальні константи [11].

Введемо (антисиметрично) також важливі для усього подальшого розгляду вектори полів $\vec{a}$ та $\vec{b}$, які містять характерні комбінації напруженостей, індукцій та вектор-потенціалів:

$$\vec{a} = -(\vec{E} + \frac{1}{c}\left[\vec{V} \times \vec{B}\right]) = \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} - \left[\vec{V} \times rot\vec{V}\right] + \vec{\nabla}(V^2/2) = \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \vec{\nabla})\vec{V}\,, \qquad (5)$$

$$\vec{b} = +(\vec{E} - \frac{1}{c}\left[\vec{V} \times \vec{B}\right]) = \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \left[\vec{V} \times rot\vec{V}\right] - \frac{1}{c}\left[\vec{V} \times \vec{\nabla}(V^2/2)\right], \qquad (6)$$

Із співвідношень (1–4) безпосередньо слідують рівняння для взаємоіндукції у чотирьох фундаментальних полях:

$$rot\vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\left(\text{åëåêòðî ì àãí ³òí å òà ãðàâ³òàö³é í å ï î ëÿ}\right) \qquad (7)$$

$$rot\vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} + \frac{1}{c}\frac{\partial(\vec{\nabla}(V^2/2))}{\partial t}\left(\text{ñèëüí å òà ñëàáêå ï î ëÿ}\right) \qquad (8)$$

Якщо рівняння (7) відоме із системи Максвелла для електромагнітного поля, то додатковий член у правій частині (8) вносить нову складову у взаємоіндукцію для сильного і слабкого полів.

На основі введених співвідношень рівняння для вектор-потенціалів, напруженостей та індукцій полів запишуться (за відсутності речовини) у наступному антисиметричному вигляді:

$$\vec{a} = \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} - \left[\vec{V} \times rot\vec{V}\right] + \vec{\nabla}(V^2/2) = \left[\begin{array}{l} +\nu_{co} \cdot (\Delta\vec{V} - \frac{1}{\upsilon_{ph}^{\,2}}\frac{\partial^2 \vec{V}}{\partial t^2}), \ (9) \\ -\nu_{co} \cdot (\Delta\vec{V} + \frac{1}{\upsilon_{ph}^{\,2}}\frac{\partial^2 \vec{V}}{\partial t^2}), \ (10) \end{array}\right.$$

$$\vec{b} = \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \left[\vec{V} \times rot\vec{V}\right] - \frac{1}{c}\left[\vec{V} \times \vec{\nabla}(V^2/2)\right] = \left[\begin{array}{l} +\nu_{co} \cdot (\Delta\vec{V} + \frac{1}{\upsilon_{ph}^{\,2}}\frac{\partial^2 \vec{V}}{\partial t^2}), \ (11) \\ -\nu_{co} \cdot (\Delta\vec{V} - \frac{1}{\upsilon_{ph}^{\,2}}\frac{\partial^2 \vec{V}}{\partial t^2}), \ (12) \end{array}\right.$$

$$\frac{\partial \vec{a}}{\partial t} = \left[\begin{array}{l} -\nu_{co} \cdot (\Delta\vec{E} - \frac{1}{\upsilon_{ph}^{\,2}}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}), \ (13) \\ +\nu_{co} \cdot (\Delta\vec{E} + \frac{1}{\upsilon_{ph}^{\,2}}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}), \ (14) \end{array}\right. \qquad c \cdot rot\vec{a} = \left[\begin{array}{l} +\nu_{co} \cdot (\Delta\vec{B} - \frac{1}{\upsilon_{ph}^{\,2}}\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}), \ (17) \\ -\nu_{co} \cdot (\Delta\vec{B} + \frac{1}{\upsilon_{ph}^{\,2}}\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}), \ (18) \end{array}\right.$$

$$\frac{\partial \vec{b}}{\partial t} = \left[\begin{array}{l} +\nu_{co} \cdot (\Delta\vec{E} + \frac{1}{\upsilon_{ph}^{\,2}}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}), \ (15) \\ -\nu_{co} \cdot (\Delta\vec{E} - \frac{1}{\upsilon_{ph}^{\,2}}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}), \ (16) \end{array}\right. \qquad c \cdot rot\vec{b} = \left[\begin{array}{l} -\nu_{co} \cdot (\Delta\vec{B} + \frac{1}{\upsilon_{ph}^{\,2}}\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}), \ (19) \\ +\nu_{co} \cdot (\Delta\vec{B} - \frac{1}{\upsilon_{ph}^{\,2}}\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}), \ (20) \end{array}\right.$$

Рис. 1. Схематичне зображення четвертого етапу космогенезу в концепції давньокитайської філософії, що відповідає порушеній антисиметрії наведених тут рівнянь поля

Тут ν_{co} – введена раніше [11, 14] кооперативна в'язкість системи полів, υ_{ph} – фазова швидкість поля. Рівняння (9, 13, 17) записані для електромагнітного поля, рівняння (10, 14, 18) – для гравітаційного, рівняння (11, 15, 19) – для сильного, рівняння (12, 16, 20) – для слабкого поля. Цим рівнянням відповідають наступні калібрувальні умови для потенціалів:

$$\Delta(\vec{\nabla}(V^2/2)) - \frac{1}{\upsilon_{ph}^{\ 2}}\frac{\partial^2(\vec{\nabla}(V^2/2))}{\partial t^2} = 0, \ (21) \qquad \Delta(\vec{\nabla}(V^2/2)) + \frac{1}{\upsilon_{ph}^{\ 2}}\frac{\partial^2(\vec{\nabla}(V^2/2))}{\partial t^2} = 0, \ (22)$$

Рівняння (21) записане для електромагнітного і слабкого полів, рівняння (22) – для гравітаційного і сильного полів.

Рівняння поля за наявності речовини

Під речовиною тут розуміється поле, яке має ненульову дивергенцію напруженості або індукції. Вона характеризується параметрами ε, μ, аналогічними відносній електричній та відносній магнітній проникності щодо електромагнітного поля [11]. При цьому

$$\upsilon_{ph}^{\ 2} = \tilde{n}^2 / (\varepsilon\mu), \tag{23}$$

Скалярний потенціал поля вводиться наступним чином:

$$\varphi = \varphi_0 + V^2/2\ , \tag{24}$$

де φ_0, власне, і символізує появу речовини як такої. В таких позначеннях напруженість та індукція електромагнітного і гравітаційного полів вводяться як

$$\vec{E} = -\frac{\partial\vec{V}}{\partial t} - \vec{\nabla}\varphi, \quad \vec{B} = c\cdot rot\vec{V} \tag{25, 26}$$

Для сильного і слабкого полів маємо наступне:

$$\vec{E} = +\frac{\partial\vec{V}}{\partial t}, \quad \vec{B} = -c\cdot rot\vec{V} + \vec{\nabla}\varphi \tag{27, 28}$$

Введемо також аналоги векторів $\vec{a}$ та $\vec{b}$ за наявності речовини:

$$\vec{a}' = -(\vec{E} + \frac{1}{c}\left[\vec{\upsilon}\times\vec{B}\right]), \quad \vec{b}' = +(\vec{E} - \frac{1}{c}\left[\vec{\upsilon}\times\vec{B}\right]) \tag{29, 30}$$

де $\vec{\upsilon}$ – швидкість елементарного об'єму речовини.

Формально запишемо умовні струми кооперативної провідності, що відображають в основному беззарядове (взаємоіндукційне) перенесення енергії по спектру збурень поля:

$$\overrightarrow{j_{co}}' = -\sigma'_{co}\cdot\vec{a}' \ \text{(електромагнітне та гравітаційне поля)} \tag{31}$$

$$\overrightarrow{j_{co}}' = +\sigma'_{co}\cdot\vec{b}' \ \text{(сильне та слабке поля)} \tag{32}$$

Тут σ_{co}' – кооперативна провідність за наявності речовини, штрихи позначають часткову дисипативність процесу взаємотрансформації збурень поля. Через σ_{co}' введемо кооперативну в'язкість в присутності речовини:

$$\nu'_{co} = \frac{c^2}{4\pi\mu k_g \sigma'_{co}} \tag{33}$$

Тут k_g калібрувальна константа для кожного сорту полів, яка має розмірність сталої всесвітнього тяжіння [11].

В таких позначеннях рівняння для напруженостей та індукцій полів за наявності речовини запишуться наступним чином:

$$\frac{\partial\vec{a}'}{\partial t} - \frac{1}{\sigma'_{co}}\cdot\frac{\partial\overrightarrow{j_{cv}}}{\partial t} = \left[\begin{array}{l} -\nu'_{co}\cdot(\Delta\vec{E} - \frac{\varepsilon\mu}{c^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2} - \vec{\nabla}(\vec{\nabla}\vec{E})), \ (34) \\ +\nu'_{co}\cdot(\Delta\vec{E} + \frac{\varepsilon\mu}{c^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2} - \vec{\nabla}(\vec{\nabla}\vec{E})), \ (35) \end{array}\right. \qquad c\cdot rot\vec{a}' - \frac{c}{\sigma'_{co}}\cdot rot\overrightarrow{j_{cv}} = \left[\begin{array}{l} +\nu'_{co}\cdot(\Delta\vec{B} - \frac{\varepsilon\mu}{c^2}\frac{\partial^2\vec{B}}{\partial t^2}), \ (38) \\ -\nu'_{co}\cdot(\Delta\vec{B} + \frac{\varepsilon\mu}{c^2}\frac{\partial^2\vec{B}}{\partial t^2}), \ (39) \end{array}\right.$$

$$\frac{\partial\vec{b}'}{\partial t} + \frac{1}{\sigma'_{co}}\cdot\frac{\partial\overrightarrow{j_{cv}}}{\partial t} = \left[\begin{array}{l} +\nu'_{co}\cdot(\Delta\vec{E} + \frac{\varepsilon\mu}{c^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}), \ (36) \\ -\nu'_{co}\cdot(\Delta\vec{E} - \frac{\varepsilon\mu}{c^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}), \ (37) \end{array}\right. \qquad c\cdot rot\vec{b}' + \frac{c}{\sigma'_{co}}\cdot rot\overrightarrow{j_{cv}} = \left[\begin{array}{l} -\nu'_{co}\cdot(\Delta\vec{B} + \frac{\varepsilon\mu}{c^2}\frac{\partial^2\vec{B}}{\partial t^2} - \vec{\nabla}(\vec{\nabla}\vec{B})), \ (40) \\ +\nu'_{co}\cdot(\Delta\vec{B} - \frac{\varepsilon\mu}{c^2}\frac{\partial^2\vec{B}}{\partial t^2} - \vec{\nabla}(\vec{\nabla}\vec{B})), \ (41) \end{array}\right.$$

Тут $\overrightarrow{j_{cv}} = \rho\cdot\vec{\upsilon}$ – густина конвективного струму. Його вклад в рівняння поля нівелюється по мірі зростання σ'_{co} та зменшення густини заряду ρ.

Рівняння (34–41) виведені за наступних калібрувальних умов на потенціали:

$$\Delta(\vec{\nabla}\varphi)-\frac{\varepsilon\mu}{c^2}\frac{\partial^2(\vec{\nabla}\varphi)}{\partial t^2}=-\vec{\nabla}(\vec{\nabla}\vec{E})), \quad (42)$$

$$\Delta(\vec{\nabla}\varphi)+\frac{\varepsilon\mu}{c^2}\frac{\partial^2(\vec{\nabla}\varphi)}{\partial t^2}=-\vec{\nabla}(\vec{\nabla}\vec{E})), \quad (43)$$

$$\Delta(\vec{\nabla}\varphi)+\frac{\varepsilon\mu}{c^2}\frac{\partial^2(\vec{\nabla}\varphi)}{\partial t^2}=+\vec{\nabla}(\vec{\nabla}\vec{B})), \quad (44)$$

$$\Delta(\vec{\nabla}\varphi)-\frac{\varepsilon\mu}{c^2}\frac{\partial^2(\vec{\nabla}\varphi)}{\partial t^2}=+\vec{\nabla}(\vec{\nabla}\vec{B})), \quad (45)$$

У вищенаведених співвідношеннях рівняння (34, 38, 42) відносяться до електромагнітного поля, рівняння (35, 39, 43) – до гравітаційного поля, рівняння (36, 40, 44) – до сильного поля, рівняння (37, 41, 45) – до слабкого поля. Як видно, поява речовини суттєво порушує антисиметрію рівнянь поля, однак саме це порушення носить антисиметричний характер.

Із антисиметрії (порушеної) рівнянь (34–41) слідує, що магнітні заряди (монополі Дірака) [1, 2] не варто шукати серед електромагнітного поля. Їх наявність характерна лише для сильного і слабкого полів. Вона напряму пов'язана зі спіном та магнітним моментом "елементарних частинок" – згустків поля.

Відмітимо, що постулат теорії відносності Ейнштейна щодо "коваріантності законів природи по відношенню до перетворень Лоренца" [12, 13] в контексті антисиметрії рівнянь (9–22) та (34–45) виглядає некоректним, як і сама ця теорія.

Аналіз рівнянь поля

Базові рівняння для вектор-потенціалів поля (9–12) є нелінійними, що обумовлює кооперативний (взаємоіндуктивний) транспорт збурень поля. Характерні параметри та характеристики цих збурень шукатимемо у вигляді [11, 14]:

$$\vec{V}(t,\vec{r})=\overrightarrow{V_A}\cdot e^{i(\omega t-\vec{k}\cdot\vec{r})}, \quad (46)$$

де i – уявна одиниця, $\vec{r}$ – радіус-вектор, $\overrightarrow{V_A}$ – комплексна амплітуда, $\omega,\vec{k}$ – циклічна частота та хвильовий вектор, які у першому наближенні [11, 14] вважаються сталими. У цьому наближенні окремо зануляються ліві та праві частини рівнянь (9–12):

$$\vec{a}=0, \quad \vec{b}=0 \quad (47, 48)$$

Підставляючи (46) в (47), з врахуванням (5) отримаємо:

$$\omega=\vec{k}\cdot\vec{V}=k\cdot V\cdot\cos\alpha, \quad (49)$$

де α – кут між векторами $\vec{k}$ та $\vec{V}$. Фазова та групові швидкості хвильових збурень у цьому випадку становлять:

$$\upsilon_{ph}=\frac{\omega}{k}=V\cdot\cos\alpha, \quad \frac{\partial\omega}{\partial\vec{k}}=\vec{V} \quad (50, 51)$$

Ці рішення для електромагнітного та гравітаційного полів вже розглядались попередньо [11, 14].

Щодо сильного і слабкого полів розглянемо два характерних випадки:

1.

$$V\ll c \quad (52)$$

У цьому випадку в правій частині (6) можна знехтувати останнім членом, що з врахуванням (46, 48) дає:

$$\omega\vec{V}-\vec{k}\cdot V^2+(\vec{k}\cdot\vec{V})\cdot\vec{V}=0 \quad (53)$$

Домножуючи (53) скалярно на $\vec{k}$, отримаємо:

$$(\vec{k}\cdot\vec{V})^2+\omega\cdot(\vec{k}\cdot\vec{V})-k^2V^2=0 \quad (54)$$

звідки слідує дисперсійне співвідношення:

$$\omega=k\cdot V\cdot\sin\alpha\cdot tg\alpha, \quad \upsilon_{ph}=V\cdot\sin\alpha\cdot tg\alpha \quad (55, 56)$$

Розв'язуючи квадратне рівняння (54) щодо скалярного добутку $(\vec{k}\cdot\vec{V})$ та взявши частинну похідну від рішення по $\vec{k}$, отримаємо вираз для групової швидкості збурень сильного та слабкого полів у наближенні $V\ll c$:

$$\frac{\partial\omega}{\partial\vec{k}}=\frac{2\vec{V}}{-1+\sqrt{1+\frac{4}{\sin^2\alpha\cdot tg^2\alpha}}} \quad (57)$$

Цей вираз характеризує дві моди кожного поля, які поширюються з однаковою фазовою (згідно з (56)) та суттєво різними груповими швидкостями. Зокрема, при $\alpha\to\pi/2$ маємо:

$$\frac{\partial\omega^+}{\partial\vec{k}}\to+\infty, \quad \frac{\partial\omega^-}{\partial\vec{k}}\to-\vec{V} \quad (58, 59)$$

Мода (58) по суті є модою витікання поля за межі кооперативної системи, а мода (59) – зустрічною по відношенню до моди (51).

Для сильного і слабкого полів розберемо другий характерний випадок:

2.

$$V\gg c \quad (60)$$

При цьому баланс (48) забезпечується першим та останнім членом у (6). Із врахуванням (46)

матимемо:

$$i\omega\vec{V} = -\frac{1}{c}\left[\vec{\nabla}(V^2/2)\times\vec{V}\right] \tag{61}$$

Домножуючи (61) векторно на $\vec{\nabla}(V^2/2)$ та врахувавши сам цей вираз, отримаємо:

$$((\vec{\nabla}(V^2/2))^2 - c^2\omega^2)\cdot\vec{V} = (\vec{V}\cdot\vec{\nabla}(V^2/2))\cdot\vec{\nabla}(V^2/2) \tag{62}$$

З виразу (46) та відомої формули Лемба – Громеко векторного аналізу слідує:

$$\vec{\nabla}(V^2/2) = -i\vec{k}\cdot V^2 \tag{63}$$

Підставляючи (63) в (62), отримаємо наступні дисперсійні співвідношення:

$$\omega = \pm ik\frac{V^2}{c}\sin\alpha\,,\ \upsilon_{ph} = i\frac{\omega}{k} = \mp\frac{V^2}{c}\sin\alpha\,, \tag{64, 65}$$

які описують відмічені раніше [11, 14] надсвітлові джети в системі сильного поля. Групова швидкість руху таких джетів становить:

$$i\frac{\partial\omega}{\partial\vec{k}} = \pm\frac{V}{c}\cdot\vec{V}\cdot\mathrm{tg}\alpha \tag{66}$$

У більш точному наближенні з врахуванням всіх трьох членів у правій частині (6) групова швидкість мод, що відповідають таким джетам, становить:

$$i\frac{\partial\omega}{\partial\vec{k}} = \frac{i\cdot 2\frac{V^2}{c^2}\cdot\vec{V}}{1\pm\sqrt{1-4\frac{V^2}{c^2}\mathrm{ctg}^2\alpha}} \tag{67}$$

При $\frac{V^2}{c^2}\to\infty$ цей вираз переходить у (66). Аналогічно до цього, у більш точному наближенні після нескладних, однак громіздких перетворень, отримаємо наступний вираз для фазових та групових швидкостей мод типу (55–57):

$$\omega = \left(1+\frac{V^2}{c^2}\right)kV\sin\alpha\mathrm{tg}\alpha\,,\ \upsilon_{ph} = \frac{\omega}{k} = \left(1+\frac{V^2}{c^2}\right)V\cdot\sin\alpha\mathrm{tg}\alpha \tag{68, 69}$$

$$\frac{\partial\omega}{\partial\vec{k}} = \frac{2\left(1+\frac{V^2}{c^2}\right)\cdot\vec{V}}{-1\pm\sqrt{1+\frac{4}{\sin^2\alpha\cdot\mathrm{tg}^2\alpha}}} \tag{70}$$

Як видно, ці вирази містять множники виду $\left(1+\frac{V^2}{c^2}\right)$ – зовсім не характерні для відомих Лоренцевих форм електромагнітного поля [1, 2].

Топологія поля

Топологічні особливості конфігурацій (мод) поля слід розглядати у вищих щодо (47, 48) наближеннях, які мають на увазі змінність ω та $\vec{k}$ в часі та просторі, що забезпечує ,зокрема, спіральність вектор-потенціалу [11, 14]. Існуючі на-сьогодні топологічні моделі електромагнітного поля базуються на концепції вмороженості магнітного поля у високопровідне середовище та ,відповідно, на мінімізації магнітної енергії польової структури [6–8].

На противагу до цього розглянемо три характерні топологічні конфігурації:

$$\int_D (\vec{a})^2\, dV_D \gtreqless \upsilon_{ph}\cdot\left|\int_D s\,dV_D\right| = \upsilon_{ph}\cdot|S| \tag{71}$$

$$\int_D (\vec{a})^2\, dV_D \gtreqless \left|\int_D g\,dV_D\right| = |G| \tag{72}$$

$$\left|\int_D (\vec{a})^2\, dV_D\right| \gtreqless \frac{L_a}{\upsilon_{ph}}\cdot\left|\int_D m\,dV_D\right| = \frac{L_a}{\upsilon_{ph}}\cdot|M| \tag{73}$$

Тут L_a, L_b – параметри масштабу структури,

$$s = \frac{\partial\vec{V}}{\partial t}\cdot rot\vec{V}\,,\ g = \frac{\partial\vec{V}}{\partial t}\cdot\vec{\nabla}(V^2/2)\,,\ m = rot\vec{V}\cdot\left[\frac{\partial\vec{V}}{\partial t}\times\vec{\nabla}(V^2/2)\right] \tag{74–76}$$

– відповідно, спіральність, градієнтність та змішаність поля, S, G, M – інтегральні значення цих величин. Інтегрування у (71–73) ведеться за об'ємами D простору, зайнятих полем векторів $\vec{a}$ і $\vec{b}$. З

фізичної точки зору умови (71–73) задають топологічні екстремуми потужності поля на основі збереження відповідно інтегральної спіральності, інтегральної градієнтності та інтегральної змішаності – у виділених Ейлерових підобластях простору, що можуть змінювати своє положення з часом. Екстремуми (71–73) у відкритій кооперативній польовій системі можуть досягатись як знизу, так і зверху. Ніякого положення статичної рівноваги [6–8] тут не існує.

Характерні топологічні частоти задаються умовою:

$$\omega_n = \gamma_n \cdot \nu_{co} \cdot k^2 , \tag{77}$$

яка узгоджується з раніше отриманими результатами [11, 14]. Тут γ_n – безрозмірний топологічний коефіцієнт, k – хвильове число.

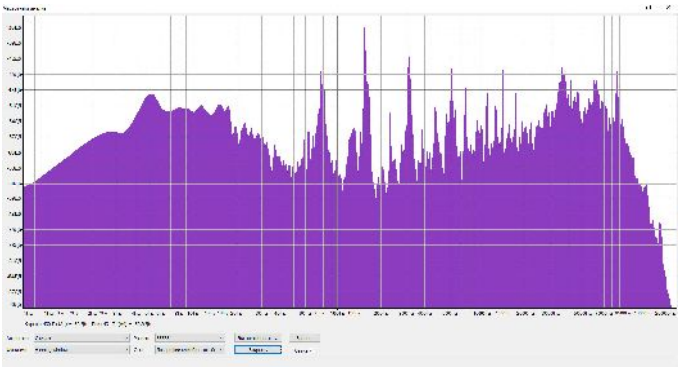


Рис. 2. Акустоемісійний спектр процесу різання

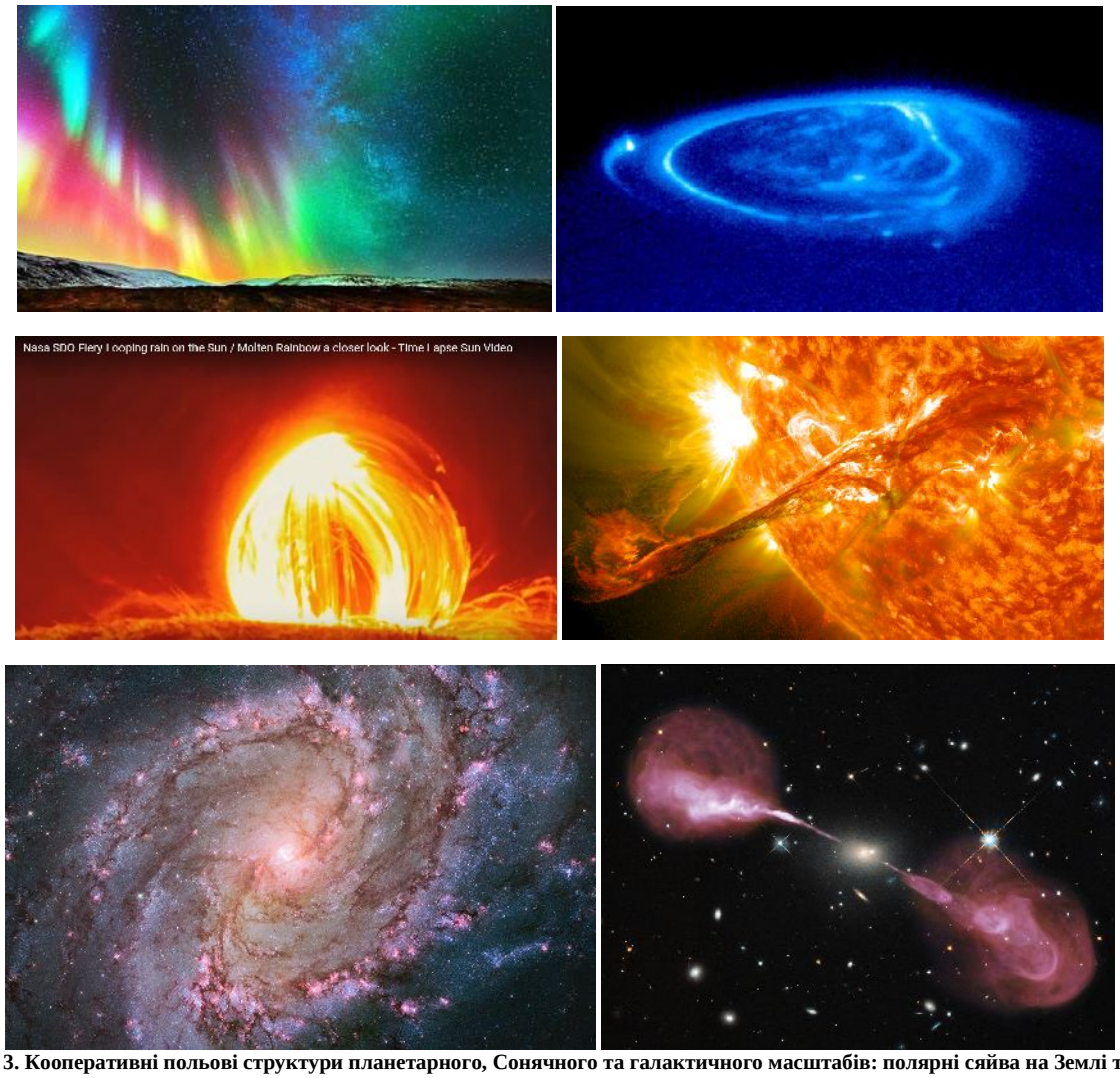


Рис. 3. Кооперативні польові структури планетарного, Сонячного та галактичного масштабів: полярні сяйва на Землі та на Юпітері (вгорі), спіральні структури та спалахи на Сонці (посередині) , спіральні та струменеві галактики (внизу)

На рис. 2 в якості технічної контактної ілюстрації наведений спектр акустограми процесу різання сталевого прутка диском кутової плоскошліфувальної машини, на якому чітко виділяються три топологічно

еквівалентних (вищерозглянутим) конфігурації поля віброшвидкостей: низькочастотний кластер (аналог (71)), високочастотний кластер (аналог (72)) та квазідискретний середньочастотний кластер – аналог (73). У тому, що звичайні технічні контактні системи здатні синтезувати практично всі топологічні конструкції чотирьох фундаментальних полів проявляється вже згадувана генетична пам'ять про початкове вольове внесення кооперації у Хаос [11].

Деякі характерні приклади відповідних космічних польових конфігурацій показані на рис. 3. Супутня дисипація в зонах D візуалізує такого роду структури. Слід, однак, відмітити, що локалізовані в просторі й часі топологічні зони концентрації спіральності, градієнтності та змішаності поля виступають лише ядром польової структури, що має, як правило, значно більший просторовий масштаб. Як приклад можна навести геліосферу Сонця, магнітосферу Землі, глобулярні польові оболонки галактик та їх скупчень. Відповідно, геліосферний струмовий шар, приполярні овали та радіаційні пояси Землі, спіральні візерунки на дисках галактик є лише частиною всієї структури поля. Звичайно, мову слід вести не про одну таку структуру певного рівня космічної ієрархії, а про загальну систему взаємопов'язаних структур. Взаємна трансформація таких польових форм руху визначає динаміку космічної еволюції. Множина галактичних форм, фіксованих у видимому, інфрачервоному, ультрафіолетовому та рентгенівському діапазонах [15, 16], становить загадку для сучасної фізики, яка звично відкидає струми зміщення (змінне в часі електричне поле) в рівняннях Максвелла [1, 6–10].

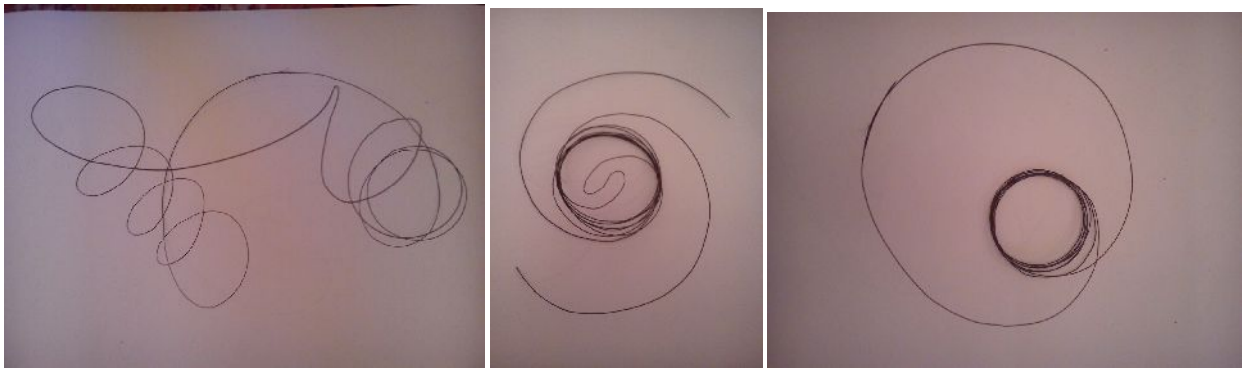


Рис. 4. Каркасні моделі, утворені з*єднанням двох протилежних спіралей

Часткове відновлення антисиметрії в процесі еволюції поля найвиразніше проявляється у "паруванні" протилежних спіральностей та мінімізації інтегральної спіральності S у всій структурі – рис. 4. Однак, різке порушення балансу тут катастрофічне, оскільки потужність трансформації поля двох роз'єднаних половин буде колосальною. Саме у цьому, з нашого погляду, причина сонячних спалахів – рис. 3. В мікрокосмічних системах часткове відновлення антисиметрії поля проявляється у винятковій стабільності ядра гелію та інших «магічних» ядер [1, 2].

Контактне динамо як механізм об'єднання полів

Локалізовані контактні зони в існуючих матеріальних системах з'єднують воєдино всі фундаментальні поля. Згенеровані тут когерентні структури поля рухаються на периферію, створюючи дочірні космічні системи, що еволюціонують відносно незалежно. Сильні та слабкі поля в контактних зонах ядер космічних систем, викидаючи назовні струмені (джети), фактично відновлюють статус-кво в боротьбі з гравітаційними колапсами. Часова перемінність пульсарів, барстерів, гамма-сплесків, цефеїд, активних ядер галактик і т.п., як уже відзначалось [17], формується в контактах.

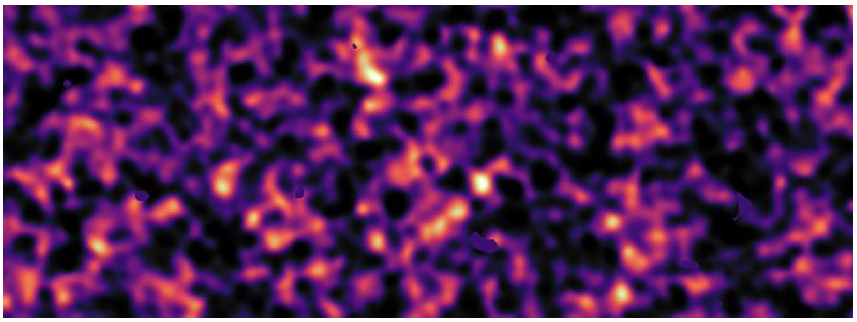


Рис. 5. Комірчасті метагалактичні польові структури, що зазвичай видаються за скупчення темної матерії [19]

Однак, топологія Метагалактики як такої визначається не матерією (дивергентним полем), а вихровими полями без дивергенції напруженостей та індукцій. В цьому відношенні давньогрецький атомізм був поверхневим. Сучасні ж матеріалісти зводять баланси Всесвіту на основі темної (для них) матерії [16, 18, 19] – рис. 5.

Динамічна кооперація як альтернатива когерентності (сфазованості) та конкуренції мод. Тривіальна та нетривіальна топологія поля

У всіх попередніх частинах даної роботи в якості заглавного фігурувало поняття когерентності, тобто взаємопов'язаності контактного динамо-процесу (лат. Cohaerentis – той, що у зв'язку). Однак, у фізиці когерентність розуміється у значно вужчому сенсі – як сфазованість коливальних, або ж хвильових процесів [1]. Ця сфазованість, по суті, забезпечується одними лишень граничними умовами системи, що зазвичай строго фіксуються. Саме граничні умови визначають спектр частот та власних форм, зокрема, в теорії електромагнітних хвилеводів та резонаторів, в розрахунку нормальних мод обмежених об'ємів середовища, елементів машин і конструкцій [1]. Результат розрахунку останніх, наприклад, методом скінчених елементів, майже не залежить від сорту самих елементів – лишень від граничних умов. Розуміння когерентності в такому вузькофізичному сенсі прямо протирічить домінуючій в останніх трьох частинах роботи ідеї кооперативної динаміки польових систем. Тому воно було свідомо знято з назви роботи, що відображає нашу внутрішню переоцінку розуміння проблеми контактного динамо. Більше того, ключова для фізики XX-го століття ідея квантування полів, що непогано описує колективну динаміку фотонів у лазерному резонаторі, або ж фононів у твердому тілі, не може бути зухвало перенесена в космічні системи для описання їх кооперативної польової динаміки. Ця динаміка, як було показано вище, визначається лівою – топологічною – частиною рівнянь поля (9–12). В той же час, наприклад, спектр власних форм електромагнітних хвилеводів та резонаторів цілком залежить від граничних умов та формується оператором Даламбера, який фігурує в правій частині рівняння (9). Фотони- кванти електромагнітного поля з бездивергентним вектор-потенціалом – є рішеннями хвильового рівняння, тобто однорідного рівняння Даламбера. Топологію поля такого роду вважатимемо тривіальною. Вона співвідноситься з відомим Гамільтоновим (або ж Лагранжевим) формалізмом квантової теорії поля [1, 2]. Еволюція таких форм поля є повністю детермінованою й цілком задається Гамільтоніаном (Лагранжіаном) та граничними умовами. Тривіальність топології таких форм безпосередньо відображається у т.з. принципі тотожності однакових частинок, що лежить в основі квантової механіки та квантової статистики [1, 2].

Сама ідея обов'язкового квантування полів виступає суто матеріалістичним продовженням давньогрецького атомізму, хибного у своїй основі. Обмеженість такої ідеї цілком аналогічна піфагорійським уявленням про самодостатність зліченної множини раціональних чисел (без усвідомлення ролі несумірних величин, що виражаються незліченною множиною ірраціональних чисел) при формулюванні законів природи. Накопичення квантів поля в одній (або ж декількох) виділених граничними умовами формах внаслідок синхронізації та конкуренції мод є основою флаттеру та баффтингу (в технічній термінології), які ведуть до динамічного самознищення системи. Вкрай рідкісні випадки такого процесу в Космосі ми спостерігаємо при вибухах нових та наднових зір ,а також в аномальній потужності гамма-сплесків та барстерів [14, 17]. В той же час, технічний флаттер та баффтинг – звичайні явища, часто катастрофічні.

Таким чином, кооперативна динаміка польових космічних систем загалом визначається не фіксацією границь, чи синхронізацією та конкуренцією мод, а взаємною трансформацією локалізованих у просторі та часі форм поля, які здатні змінювати власні границі, формуючи свою еволюцію в контексті еволюції всіх. Топологія таких високоорганізованих польових систем є нетривіальною у широкому розумінні слова.

Домінування оберненого енергетичного каскаду як друге порушення антисиметрії

За умови домінування складових лівої частини рівнянь (9–12) над складовими правих частин (за модулем) встановлюється наступне дисперсійне співвідношення:

$$\omega \geq N_{ch} \cdot \nu_{co} \cdot k^2 \tag{78}$$

де N_{ch} – параметр когерентності [11, 14], або ж:

$$\frac{2\pi\tau}{\lambda^2} \cdot \nu_{co} \leq 1 \tag{79}$$

де $\tau = N_{ch} \cdot T$ – час життя структури поля, T, λ – період коливань та довжина хвилі структури. Форма співвідношень (78, 79) відображає домінування в космічних системах оберненого енергетичного каскаду – в сторону більших просторових та часових масштабів. Однак, як уже відзначалось [11, 14], паралельно йде й зустрічний (прямий) енергетичний каскад, що врешті призводить до утворення матерії. В такому випадку стає можливою зміна знаку в нерівності (79), що веде до переформатування топології поля – з перевагою правої частини рівнянь (9–12) над лівою (для кожного члена за модулем). Така перевага в окремих локалізованих матеріальних системах здатна повністю змінити кооперативний характер взаємодії польових структур на користь окремих довготривалих форм матерії. Мова йде, передусім, про фотон,електрон,протон та стабільні ядра, що становлять матеріальну основу, зокрема, життя на Землі. Всі існуючі на-сьогодні фізичні теорії поля (передусім, квантові) адаптовані лишень до описання такого роду матеріальних систем. Однак, наприклад, той факт, що адрони в більшості своїй представлені резонансами із вкрай малим часом життя [1, 2], свідчить про переважне виконання умови (79) не тільки в Макро-, але й в мікро-космосі. Самовпевнене застосування тут суто матеріалістичних квантових постулатів обумовлює всі існуючі труднощі т.з. квантової хромодинаміки [1, 2]. Усвідомлення факту порушення антисиметрії поля на користь оберненого (а не прямого) енергетичного каскаду має вирішальне моральне значення як для об'єктивного описання еволюції космічних систем, так і для розуміння нашого місця в цих системах, та й, врешті, сенсу життя.

Література

1. Физическая энциклопедия : в 5 т. / под. ред. А.М. Прохорова. – М. : Большая росс. энц., 1999. – 760 с.

2. Физика микромира. Маленькая энциклопедия / под ред. Д.В. Ширкова. – М. : Сов. Энц, 1980. – 528 с.

3. The BEH-mechanism, Interactions with Short Range Forces and Scalar Particles. Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2013. URL: http://kva.se

4. Ланев А.В. Результаты коллаборации CMS: бозон Хиггса и поиски новой физики / А.В. Ланев // УФН. – 2014. – Т. 184, № 9. – С. 996–1004.

5. Казаков Д.И. Хиггсовский бозон открыт: что дальше? / Д.И. Казаков // УФН. – 2014. – Т. 184, № 9. – С. 1004–1016.

6. Моффатт К. Вихревая динамика: наследие Гельмгольца и Кельвина / К. Моффатт // Нелинейная динамика. – 2006. – Т. 2, № 4. – С. 401–410.

7. Moffatt H.K. Helicity in Laminar and Turbulent Flow / H.K. Moffatt, A. Tsinober // Annu. Rev. Fluid Mech. – 1992. – V. 24. – P. 281–312.

8. Berger M.A. Topological Methods in Astrophysics / M.A. Berger // Phil. Trans. R. Soc. Lond. A. – 2001. – V. 359. – P. 1439–1448.

9. Hardee P. AGN jets: From Largest to Smallest Angular Scales / P. Hardee // J. Phys.: Conf. Ser. – 2008. – V. 131, N 012052. – P. 1–14.

10. Zhang H. Current Helicity of Active Regions as a Tracer of Large-scale Solar Magnetic Helicity / H. Zhang, D. Moss, N. Kleeorin et. al. // The Astrophys. J. – 2012. – V. 751, N 47. – P. 1–10.

11. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних (кооперативних) космічних форм руху та механізм об'єднання електромагнітного, гравітаційного, сильного і слабкого полів. Частина IX. Нова стара фізика / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 6. – С. 293–306.

12. Паули В. Теория относительности / Паули В. – М. : Наука, 1991. – 328 с.

13. Ландау Л.Д. Теория поля / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. – М. : Наука, 1988. – 512 с.

14. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних (кооперативних) космічних форм руху та джерело планетарної, сонячної, галактичної та метагалактичної енергії та електромагнетизму. Частина VIII / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 5. – С. 226–239.

15. Beck R. Magnetic Fields in Spiral Galaxies / R. Beck // Astron. Astrophys. Rev. – 2016. – V. 24, N 4. – P. 1–57.

16. Засов А.В. Темная материя в галактиках / А.В. Засов, А.С. Сабурова, А.В. Хоперсков, С.А. Хоперсков // УФН. – 2017. – Т.187, № 1. – С. 3–44.

17. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних космічних форм руху та джерело планетарної, сонячної , галактичної і метагалактичної енергії. Частина IV / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 3. – С. 115–128.

18. Рябов В.А. Поиски частиц темной материи / В.А. Рябов, В.А. Царев, А.М. Цховребов // УФН. – 2008. – Т. 178, № 11. – С. 1129–1164.

19. Темная материя оказалась более «гладкой», чем считали ученые [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://ria.ru/science/20161207/1483035197.html?inj=1

References

1. Fizicheskaya entsiklopediya : v 5 t. / pod. red. A.M. Prohorova. – M. : Bolshaya ross. ents., 1999. – 760 s.

2. Fizika mikromira. Malenkaya entsiklopediya / pod red. D.V. Shirkova. – M. : Sov. Ents, 1980. – 528 s.

3. The BEH-mechanism, Interactions with Short Range Forces and Scalar Particles. Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2013. URL: http://kva.se

4. Lanev A.V. Rezultatyi kollaboratsii CMS: bozon Higgsa i poiski novoy fiziki / A.V. Lanev // UFN. – 2014. – T. 184, 9. – S. 996–1004.

5. Kazakov D.I. Higgsovskiy bozon otkryit: chto dalshe? / D.I. Kazakov // UFN. – 2014. – T. 184, 9. – S. 1004–1016.

6. Moffatt K. Vykhrevaia dynamyka: nasledye Helmholtsa y Kelvyna / K. Moffatt // Nelyneinaia dynamyka. – 2006. – T. 2, 4. – S. 401–410.

7. Moffatt H.K. Helicity in Laminar and Turbulent Flow / H.K. Moffatt, A. Tsinober // Annu. Rev. Fluid Mech. – 1992. – V. 24. – P. 281–312.

8. Berger M.A. Topological Methods in Astrophysics / M.A. Berger // Phil. Trans. R. Soc. Lond. A. – 2001. – V. 359. – P. 1439–1448.

9. Hardee P. AGN jets: From Largest to Smallest Angular Scales / P. Hardee // J. Phys.: Conf. Ser. – 2008. – V. 131, N 012052. – P. 1–14.

10. Zhang H. Current Helicity of Active Regions as a Tracer of Large-scale Solar Magnetic Helicity / H. Zhang, D. Moss, N. Kleeorin et. al. // The Astrophys. J. – 2012. – V. 751, N 47. – P. 1–10.

11. Zaspa Yu.P. Kontaktne dynamo yak henerator koherentnykh (kooperatyvnykh) kosmichnykh form rukhu ta mekhanizm obiednannia elektromahnitnoho, hravitatsiinoho, sylnoho i slabkoho poliv. Chastyna IX. Nova stara fizyka / Yu.P. Zaspa // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2017. – Issue 6. – S. 293–306.

12. Pauli V. Teoria otnositelnosti / Pauli V. – M. : Nauka, 1991. – 328 s.

13. Landau L.D. Teoriya polya / Landau L.D., Lifshits E.M. – M. : Nauka, 1988. – 512 s.

14. Zaspa Yu.P. Kontaktne dynamo yak henerator koherentnykh (kooperatyvnykh) kosmichnykh form rukhu ta dzherelo planetarnoi, soniachnoi, halaktychnoi ta metahalaktychnoi enerhii ta elektromahnetyzmu. Chastyna VIII / Yu.P. Zaspa // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2017. – Issue 5. – S. 526–539.

15. Beck R. Magnetic Fields in Spiral Galaxies / R. Beck // Astron. Astrophys. Rev. – 2016. – V. 24, N 4. – P. 1–57.

16. Zasov A.V. Temnaya materiya v galaktikah / A.V. Zasov, A.S. Saburova, A.V. Hoperskov, S.A. Hoperskov // UFN. – 2017. – T.187, 1. – S. 3–44.

17. Zaspa Yu.P. Kontaktne dynamo yak henerator koherentnykh kosmichnykh form rukhu ta dzherelo planetarnoho, soniachnoho i halaktychnoi i metahalaktychnoi enerhii. Chastyna IV / Yu.P. Zaspa // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2016. – 3. – S. 115–128.

18. Ryabov V.A. Poiski chastits temnoy materii / V.A. Ryabov, V.A. Tsarev, A.M. Tshovrebov // UFN. – 2008. – T. 178, 11. – S. 1129–1164.

19. Temnaya materiya okazalas bolee «gladkoy», chem schitali uchenyie [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu : https://ria.ru/science/20161207/1483035197.html?inj=1

Рецензія/Peer review : 19.02.2018 р. Надрукована/Printed :28.03.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису
http://vestnik.ho.com.ua/rules/

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету, протокол протокол № 11 від 22.02.2018 р.

Підп. до друку 28.03.2018 р. Ум.друк.арк. 48,98 Обл.-вид.арк. 46,12
Формат 30х42/4, папір офсетний. Друк різографією.
Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого
редакцією журналу “Вісник Хмельницького національного університету”
редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63