ISSN 2307-5732

Науковий журнал

2.2017

ВІСНИК
Хмельницького національного університету

Технічні науки
Technical sciences

Scientific Journal
Herald of Khmelnytskyi National University

2017, Issue 2, Volume 247

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, 2017, № 2 (247)

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 М.П., 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., Коновал В.П., 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., Сарібеков Г.С., 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.

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 30.03.2017 р.

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

☎ (038-22) 2-51-08 **web:** http://journals.khnu.km.ua/vestnik
e-mail: visnyk_khnu@rambler.ru 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, 2017
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2017

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

О.В. БАТРАЧЕНКО, І.М. ЛИТОВЧЕНКО
ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ В БУНКЕРІ ЕМУЛЬСИТАТОРУ З ГОРИЗОНТАЛЬНИМ ЖИВЛЯЧИМ ПАТРУБКОМ 7

О.В. ПЕТРОВ, В.А. ПОДОЛЯК, С.О. ГУНДЕРЧУК
ЗАСТОСУВАННЯ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НА МІЦНІСТЬ ДЕТАЛЕЙ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТОСУВАНЬ 12

Н.М. СТЕБЕЛЕЦЬКА
ОЦІНКА ЕНЕРГОНАВАНТАЖЕНОСТІ ПАР ТЕРТЯ ГАЛЬМІВНИХ ПРИСТРОЇВ 15

Е.А. ЯРЕМЕНКО, Н.А. ЯРЕМЕНКО, И.Н. МИРОНЕНКО
РАСЧЕТ ЗАМКНУТЫХ РАМ 19

С.О. КОШЕЛЬ, Г.В. КОШЕЛЬ
АНАЛІЗ ПЛОСКИХ МЕХАНІЗМІВ ЧЕТВЕРТОГО КЛАСУ З РУХОМИМ ЗАМКНЕНИМ КОНТУРОМ, УТВОРЕНИМ ТРЬОМА ШАТУНАМИ ТА КОРОМИСЛОМ 23

О.М. ПИЛИПЕНКО, О.В. БАТРАЧЕНКО, І.М. ЛИТОВЧЕНКО
МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІКИ СІДЕЛЬНОГО АВТОПОТЯГУ 27

В. В. СЛАВІН
ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ВПОРСКУВАННЯ БЕНЗИНУ НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ ДВИГУНА В РЕЖИМІ МІНІМАЛЬНОЇ ЧАСТОТИ ХОЛОСТОГО ХОДУ 34

С.В. СМУТКО, С.П. ЛІСЕВИЧ, Д.О. ГАЛЮК
РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДОЗУВАННЯ РІДКИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПРАННЯ В ПРАЛЬНИХ МАШИНАХ 38

В.П. СВІДЕРСЬКИЙ, В.С. ЯРЕМЧУК, А.В. ФУРМАН
СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЛІНІЙНОГО ТЕПЛОВОГО РОЗШИРЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ ТВЕРДИХ ТІЛ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ 42

М.М. КОСІЮК, С.А. КОСТЮК
ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РУХОМИХ СФЕРИЧНИХ ШАРНІРНИХ З'ЄДНАНЬ 47

В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ
ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ІНВАРІАНТІВ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЗМІВ ЧЕБИШЕВА ІЗ ЗУПИНКОЮ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЇХ РОБОТИ У СИСТЕМІ SOLIDWORKS 52

М.М. РУБАНКА
ПРИВІД КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ З ДВОПОТОЧНОЮ ЧЕРВ'ЯЧНОЮ ПЕРЕДАЧЕЮ ТА ВИБІР ЙОГО ПАРАМЕТРІВ 59

В.Г. ЗДОРЕНКО, Н.М. ЗАЩЕПКІНА
ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ ГАЛЬМУВАННЯ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ТА ВИБІР ЇЇ ПАРАМЕТРІВ 63

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

А.В. НІКОНОВА, О.А. АНДРЕЄВА, Л.А. САБЛІЙ
ПОРІВНЯЛЬНА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ ХРОМОВОГО І ТИТАНОВОГО ДУБЛЕННЯ 67

О.О. ГОРАЧ, Л.А. ЧУРСІНА
ПЕРЕРОБКА СТЕБЕЛ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО В ТЕХНІЧНИЙ ТЕКСТИЛЬ НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 72

Г.А. БОЙКО, Л.А.ЧУРСІНА, А.В. КУТАСОВ
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВІТЧИЗНЯНИХ, ЄВРОПЕЙСЬКИХ ТА ПІВНІЧНОАМЕРИКАНСЬКИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ ТЕХНІЧНИХ КОНОПЕЛЬ 76

Т.О. КОЛЕСНИК, О.А. АНДРЕЄВА, Л.А. МАЙСТРЕНКО
ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ВИГОТОВЛЕННЯ, СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ШКІРЯНОГО ПЕРГАМЕНТУ 79

Є.О. КОРОБЧЕНКО, В.В. ЧАБАН
МЕХАНІЗМ ВІДТЯГНЕННЯ ПОЛОТНА КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ З ДВОПОТОЧНИМ ЛОБОВИМ ВАРІАТОРОМ ТА ВИБІР ЙОГО ПАРАМЕТРІВ 84

Д.Г. КРУГЛИЙ, К.М. КЛЕВЦОВ
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОДЕРЖАННЯ ШТАПЕЛЬОВАНОЇ ЦЕЛЮЛОЗОВМІСНОЇ ЛУБ'ЯНОЇ СИРОВИНИ 89

В.Л. МАРЧЕНКО
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ ВЗУТТЯ 95

Н.В. МИХАЙЛОВА, В.О. ПРИВАЛА
АНАЛІЗ УМОВ ПРАЦІ РОБІТНИКІВ, ЯКІ ВИКОНУЮТЬ ОЧИЩЕННЯ ЗАКРИТИХ ЄМНОСТЕЙ ВІД ХІМІЧНО АГРЕСИВНИХ РЕЧОВИН 98

О.В. БАРМАК, О.В. МАЗУРЕЦЬ, А.О. МАТВІЙЧУК
ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ГНУЧКОГО ТЕСТУВАННЯ РІВНЯ ЗНАНЬ У СЕРЕДОВИЩІ MOODLE 103

Н.В. ТУЛУЧЕНКО
ЕКОЛОГІЧНІ НОРМИ БЕЗПЕКИ ВИРОБІВ ДОМАШНЬОГО ВЖИТКУ З ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО 115

О.М. КУНИК, Д.Г. САРІБЄКОВА, Г.С. САРІБЕКОВ, О.М. ВІТРЕНКО
ВДОСКОНАЛЕННЯ СКЛАДУ ЛАНОЛІНОВОГО КРЕМУ, ЗБАГАЧЕНОГО БІОЛОГІЧНО-АКТИВНИМИ ДОБАВКАМИ 119

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

В.Ю. ТІТОВА, В.В. БОЧУЛЯК
АЛГОРИТМ ТА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОШУКУ ШЛЯХУ ІГРОВИМ БОТОМ НА БАЗІ РОЙОВОГО ІНТЕЛЕКТУ 124

В.В. КОТЕНЕВ, В.В. МАРТЫНЮК
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ЗАЩИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ВОДЫ 128

А.А. МЯСИЩЕВ
ПОСТРОЕНИЯ БПЛА ДЛИТЕЛЬНОГО ПОЛЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ 132

А.А. БАБИЙ, П.Г. БАЛДУК, Н.Г. СУРЬЯНИНОВ
ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОГО РАСЧЕТА ПЛОСКИХ ФЕРМ 137

М.М. БИКОВ, А.Д., ГАФУРОВА, В.В. КОВТУН
ДОСЛІДЖЕННЯ КОМІТЕТУ НЕЙРОМЕРЕЖ У АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ РОЗПІЗНАВАННЯ МОВЦІВ КРИТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ 144

Ю.М. БОЙКО, О.І. ЄРЬОМЕНКО
ЕФЕКТИВНІСТЬ СИГНАЛЬНО-КОДОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ З ЧАСТОТНОЮ МАНІПУЛЯЦІЄЮ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОМУ КАНАЛІ ЗВ'ЯЗКУ 150

Н.М. ЗАЩЕПКІНА, О.С. ТОМАШУК, А.В. ФЕДОРЕНКО
ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ПАРАМЕТРІВ ДРОТУ В ПРОЦЕСІ ЙОГО ВИГОТОВЛЕННЯ 164

Л.О. КОВТУН, Д.М. МЕДЗАТИЙ
НАДЛИШКОВИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ПАПЕРУ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ДВОКАНАЛЬНОГО ШИРОКОДІАПАЗОННОГО ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ЗАСОБУ 170

С.В. КОСТІШИН, М.В. БАЧИНСЬКИЙ, О.С. КОЗОРІЗ, В. Е. КРИВОНОСОВ
АВТОМАТИЗОВАНЕ РОБОЧЕ МІСЦЕ ОПЕРАТОРА ДЛЯ ОЦІНКИ ЙОГО ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ 176

Б.Б. КРУЛІКОВСЬКИЙ, А.І. СИДОР
МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ХЕММІНГОВОЇ ВІДДАЛІ У КОДАХ МУЛЬТИБАЗИСНИХ ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ 181

Є.С. ЛЄНКОВ
УЗАГАЛЬНЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ СКЛАДНОЇ ТЕХНІКИ 186

Л.А. МИХЕЕНКО, М.К. НОВИЦКИЙ
ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИФФУЗНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОЙ ЯРКОСТИ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКИ-СОПРЯЖЕННЫХ ИНТЕГРИРУЮЩИХ СФЕР 192

А.О. НІЧЕПОРУК, Ю.О. НІЧЕПОРУК, Б.О. САВЕНКО, М.В. СТЕЦЮК
ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКОВАНИХ ЕМУЛЯТОРІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ МЕТАМОРФНИХ ВІРУСІВ В КОРПОРАТИВНІЙ МЕРЕЖІ 199

З.Ю. ОСТРОВСЬКИЙ, М.С. МІЛЬ
КОМІРКИ БЕНАРА 207

Н.С. СВИРНЕВСКИЙ
АЛГОРИТМ РЕКОНСТРУКЦИИ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ 212

І.Г. ЧИЖ, В.Є. МИРОНОВИЧ, Я.В. КОПИЛОВ
ЕВОЛЮЦІЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИЧНОЇ СИЛИ ІНТРАОКУЛЯРНОЇ ЛІНЗИ, ЩО ІМПЛАНТУЄТЬСЯ В ОКО ПІД ЧАС ХІРУРГІЇ КАТАРАКТИ 218

О.К. ЯНОВИЦЬКИЙ, О.С. ЯНОВИЦЬКИЙ, В.Ф. ДЗЯБУРА
УДОСКОНАЛЕННЯ ВІТЧИЗНЯНИХ ВТОРИННИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ 227

Л.П. БЕДРАТЮК, Г.І. БЕДРАТЮК
ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОЇ АЛГЕБРИ MAPLE ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ КОМБІНАТОРНИХ ЗАДАЧ 234

В.С. ПЕТРУШАК
ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ЧАСТОТНОГО КОМПАРАТОРА В РОТАЦІЙНОМУ ВІСКОЗИМЕТРІ З ФАЗОЧАСТОТНИМ ПЕРЕТВОРЕННЯМ ІНФОРМАТИВНОГО ПАРАМЕТРА 240

Т.К. СКРИПНИК, С.С. ПЕТРОВСЬКИЙ, О.В. ВОЛОШИН
ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ASP.NET ПРИ РОЗРОБЦІ WEB-ЗАСТОСУВАННЯ 245

К.Л. ГОРЯЩЕНКО, О.П. ВОЙТЮК, С.Л. КУШНІРУК, О.В. ШЕВЧУК
ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ PLC 250

Д.В. ПРИБЕГА, С.Ю. КОРСУН, С.В. СМУТКО, Т.Д. ПРИБЕГА
РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОГО ПЕРЕМИКАЧА ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ 254

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 637.5.02

О.В. БАТРАЧЕНКО
Черкаський державний технологічний університет
І.М. ЛИТОВЧЕНКО
Національний університет харчових технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ В БУНКЕРІ ЕМУЛЬСИТАТОРУ З ГОРИЗОНТАЛЬНИМ ЖИВЛЯЧИМ ПАТРУБКОМ

Шляхом чисельного моделювання досліджено особливості гідродинаміки м'ясної сировини в бункері емульситатора, який має горизонтальний живлячий патрубок. Встановлено, що в такому бункері наявні характерні зони руху сировини, які призводять до її гальмування та, відповідно, до зменшення питомої продуктивності машини та до підвищеного нагріву сировини при її подрібненні в різальному вузлі. Такі зони обумовлені наступним: гальмуванням сировини внаслідок тертя об стінки бункеру та об стінки живлячого патрубку, гальмуванням в місці зкруглення живлячого патрубку, зниженням швидкості сировини внаслідок зустрічі різнонаправлених потоків в бункері пірамідальної форми. Розроблено рекомендації для розробки нової конфігурації бункера емульситатора з підвищеною швидкістю подачі сировини до різального вузла.

Ключові слова: емульситатор, м'ясний фарш, бункер, гідродинаміка, чисельне моделювання.

OLEXANDR VICTOROVICH BATRACHENKO
Cherkassy State Technological University
IGOR MIKOLAEVYCH LITOVCHENKO
National University of Food Technologies

STUDY OF HYDRODYNAMICS OF RAW MEAT IN BUNKERS EMULSIFIERS WITH HORIZONTAL SUPPLY PIPE

Studied by numerical simulation of the hydrodynamics characteristics of raw meat in the hopper of emulsifier, which has a horizontal supply pipe. Found that in a bunker the existing distinctive areas of the flows of raw materials, which lead to its inhibition and, consequently, reduce the specific productivity of the machine and to the increased heating of the raw material during its grinding in the cutting unit. These zones are caused by the following: inhibition of raw materials due to the friction of the silo wall and the wall of the supply pipe, brake in place of the round feeding pipe; speed reduction of raw materials as a result of multidirectional flows in the hopper of pyramidal shape. Recommendations for the development of a new configuration of the bunker of emulsifier with increased feed rate to the cutting site.

Keywords: emulsifier, minced meat, hopper, hydrodynamics, simulation.

Постановка проблеми

Емульситатори використовуються для тонкого подрібнення фаршу після кутера або замість нього в технологічних лініях з виготовлення безструктурних ковбасних виробів. Одними з недоліків сучасних емульситаторів є недостатня їх питома продуктивність та підвищений нагрів сировини при подрібненні. Нагрівання сировини обумовлено підвищеною площею тертя ножів об решітку [1] та, на нашу думку, недостатньою швидкістю подачі фаршу з бункера в різальний вузол. Знижена швидкість надходження сировини в різальний вузол призводе до збільшення емісії тепла від різального комплекту до сировини, а також до недостатньо високої питомої продуктивності емульситаторів. Підвищена швидкість подачі сировини може бути забезпечена за рахунок обґрунтування раціонального взаємного розташування бункеру з сировиною та різального вузла (компонування машини), а також раціональних конструктивних і геометричних параметрів бункеру. В світлі вирішення даної задачі актуальним є дослідження гідродинаміки м'ясної сировини при її русі в бункері емульситатора.

Аналіз останніх джерел

Достатньо докладні відомості про емульситатори наведено в роботі [2]. Однак в ній не зазначено про вплив компонування машини та конструктивного виконання бункерів на швидкість надходження сировини до різального вузла. В роботі [3] автори експериментальним шляхом дослідили витратні характеристики бункерів, які застосовуються в конструкції емульситаторів провідних світових виробників. Було встановлено, що бункерам (рис. 1) з горизонтальним живлячим патрубком властива найменша, вкрай низька, швидкість витікання сировини. Однак в роботі [3] отримані результати детально не пояснені, залишаються невизначеними особливості гідродинаміки м'ясної сировини в бункері емульситаторів. Це не дозволяє обґрунтувати таку будову бункеру і таке компонування машини при якому буде забезпечено найвищу швидкість надходження сировини до різального вузла без використання примусової подачі.

Метою роботи є встановлення особливостей гідродинаміки м'ясної сировини в бункері емульситатора, який має горизонтальний живлячий патрубок, для створення передумов розробки нової конфігурації бункера з підвищеною швидкістю подачі сировини до різального вузла емульситатора.

Виклад основного матеріалу

Емульситатори відрізняються між собою компонуванням, будовою бункеру та будовою різального

вузла [2, 4-9]. Одним із найбільш розповсюджених типів є емульситатор, який має бункер пірамідальної форми з горизонтальним живлячим патрубком та різальним комплектом на його кінці (рис. 1). Таке компонування мають машини марок "Karl Schnell FD", "Laska Nannokutter FZ", "INOTEC" тощо. Сировина (м'ясний фарш, який мілко подрібнений в кутері або у вовчку) самопливом потрапляє з бункеру 1 в патрубок 2 і далі до різального комплекту 4. При цьому швидкість руху сировини низька [3], що негативно впливає на її нагрів та на продуктивність машини.

Зважаючи на технічну складність задачі, дослідження гідродинаміки сировини проводилось шляхом моделювання за допомогою чисельних методів. Використовувався програмний комплекс FlowVision, який призначений для розрахунку гідро- та газодинамічних задач в широкому діапазоні чисел Рейнольдса в довільних тривимірних областях. В даному випадку базовими були рівняння Нав'є-Стокса та рівняння нерозривності потоку. Чисельне інтегрування рівнянь за просторовими координатами проводилось з використанням прямокутної сітки (рис. 2).

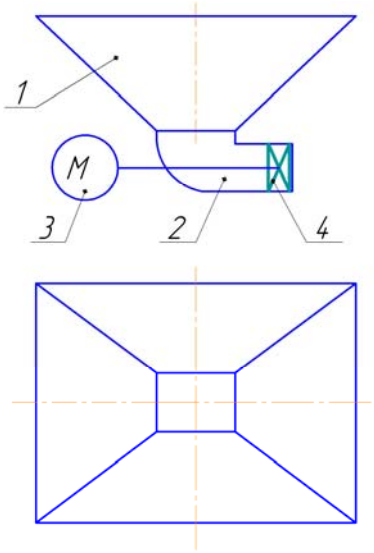


Рис. 1. Компонувальна схема емульситатору з горизонтальним живлячим патрубком:
1 - бункер; 2 - горизонтальний живлячий патрубок; 3 - електродвигун; 4 - різальний вузол

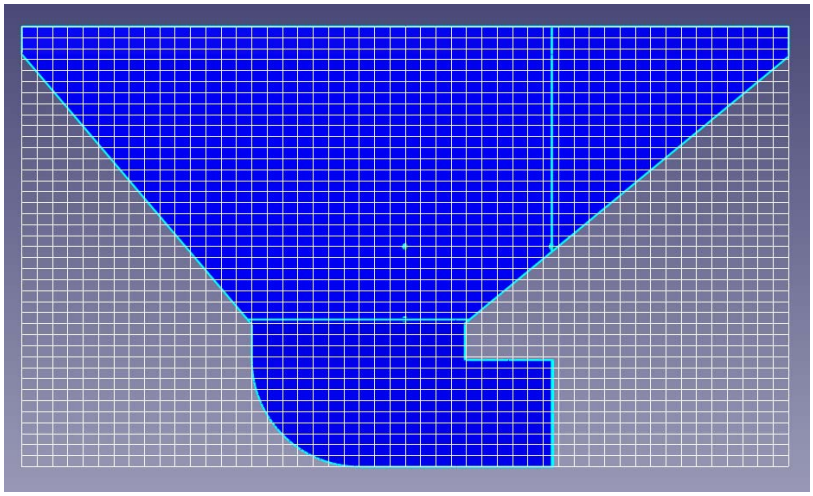


Рис. 2. Розрахункова сітка робочої зони досліджуваної моделі

Були використані наступні параметри: густина рідини 1050 кг/м^3; в'язкість 30 Па·с (відповідає м'ясному фаршу). При визначенні граничної умови стінки була задана шорсткість поверхні, яка характерна для матеріалу, з якого виготовляються бункери. Використано кілька способів візуалізації отриманих результатів: заливка кольором, ізолінії та вектори. Результати чисельного моделювання наведені на рис. 3-7.

Як слідує з отриманих даних, в бункері представленої будови наявні кілька характерних зон. Найбільший тиск сировини спостерігається (рис. 3) в нижній частині бункеру, а саме - в місці зкруглення живлячого патрубку (4,23 кПа). Ближче до вихідного отвору патрубку тиск знижується до 1,96 кПа і прямує до нуля на кінці патрубку. В бункері вище патрубку тиск знаходиться в межах 2-3 кПа і поступово знижується до нуля по мірі наближення до верхнього зрізу бункеру.

Швидкість сировини приймає різні значення як в горизонтальній, так і у вертикальній площині. Найбільші значення швидкості спостерігаються (рис. 4-6) біля вихідного отвору патрубку і складають (0,8-1)·10^{-2} м/с. Окремо слід вказати, що такі значення швидкості наявні лише в зоні біля повздовжньої вісі симетрії патрубку, ближче до його стінок (рис. 5, 6) швидкість суттєво знижується до (0-0,5)·10^{-2} м/с.

В зоні зкруглення патрубку сировина рухається уповільнено, зі швидкістю (0-0,3)·10^{-2} м/с (рис. 4).

В бункері при русі сировини донизу її швидкість поступово збільшується до 0,3·10^{-2} м/с, що можна пояснити зменшенням поперечного перерізу бункеру по напрямку руху сировини.

Значний інтерес являє собою розподілення значень вертикальної швидкості сировини в горизонтальному перетині бункеру (рис. 7). Чітко виражена зона з локальним підвищенням швидкості до (0,3-0,4)·10^{-2} м/с, яка розташована навколо серединного вертикального перетину бункеру в місці його сполучення з патрубком ближче до вихідного отвору патрубку. Навколо цієї зони сировина рухається зі швидкістю порядку 0,25·10^{-2} м/с і менше. Чим ближче до зкруглення патрубку і стінок бункеру, тим менша швидкість сировини.

Узагальнюючи отримані дані, можна скласти наступну схему розташування характерних зон руху м'ясної сировини в бункері емульситатору (рис. 8). Рухаючись від верхнього зрізу бункеру до живлячого патрубку сировина поступово збільшує свою вертикальну швидкість за рахунок зменшення поперечного перерізу бункеру по напрямку руху. В той же час швидкість сировини не набуває високих значень через гальмування внаслідок тертя об стінки бункеру (зона 4) та внаслідок зустрічі різнонаправлених потоків (в

даному випадку А та Б) в місці сполучення з живлячим патрубком (зона 5).

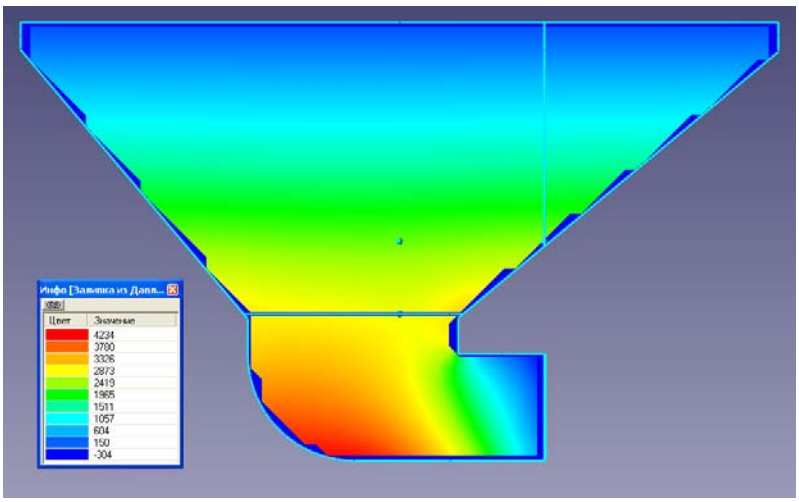


Рис. 3. Тиск в сировині, Па (вертикальний серединний поперечний переріз бункеру)

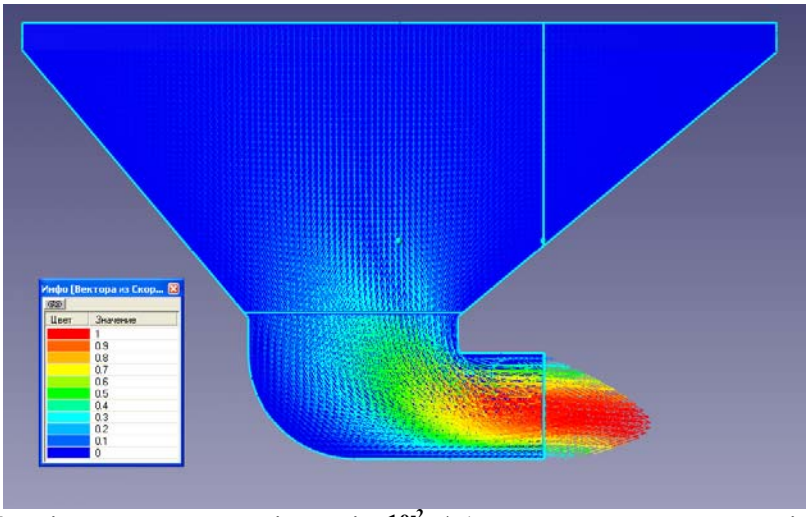


Рис. 4. Швидкість сировини у вигляді векторів, $\cdot 10^{-2}$ м/с (вертикальний поперечний переріз бункеру)

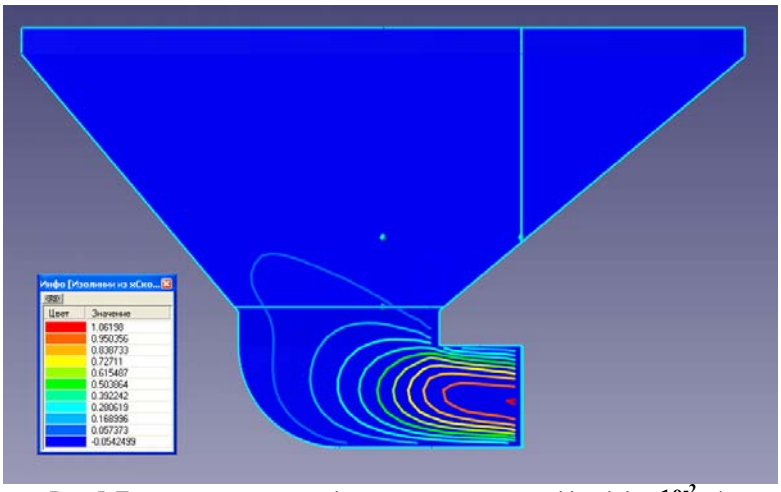


Рис. 5. Горизонтальна швидкість сировини у вигляді ізоліній, $\cdot 10^{-2}$ м/с (вертикальний серединний поперечний переріз бункеру)

Необхідність зміни напрямку руху сировини на 90º (з вертикального на горизонтальний) разом із наявністю значної адгезії сировини до стінок бункеру і патрубку призводить до появи застійної зони 3 в місці зкруглення патрубку, в якій сировина рухається з вкрай малою швидкістю або не рухається зовсім. В самому ж патрубку наявні зони 2 гальмування сировини внаслідок тертя об його стінки, ці зони розташовані по периметру поперечного перерізу патрубку на всій його довжині. Як результат, максимальна швидкість сировини спостерігається лише в зоні 1, яка розташована навколо повздовжньої вісі симетрії живлячого патрубку і яка має достатньо обмежений габарит в поперечному перерізі.

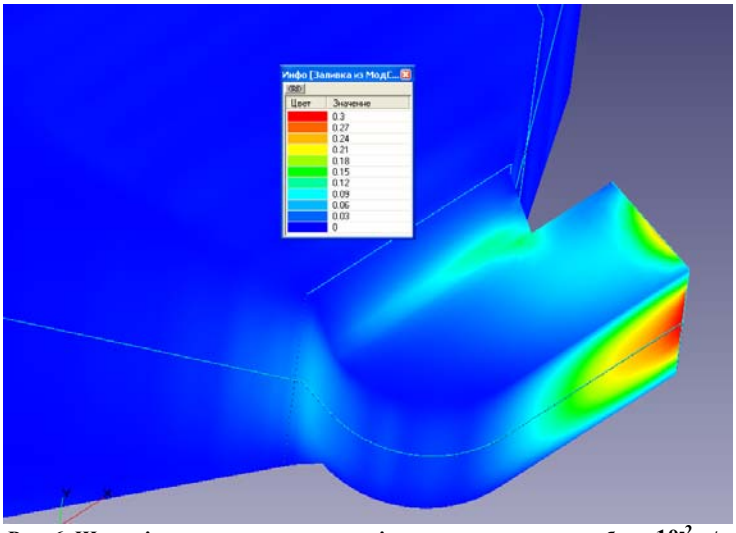


Рис. 6. Швидкість сировини вздовж стінок живильного патрубку, $\cdot 10^{-2}$ м/с

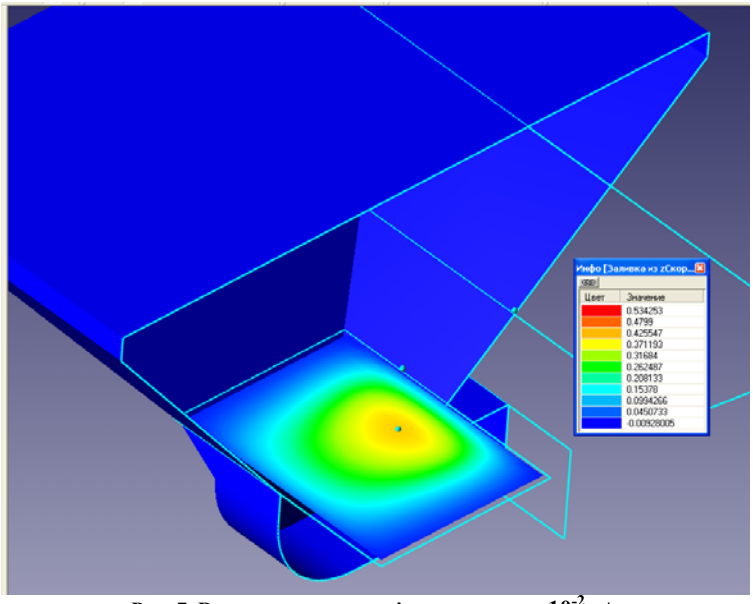


Рис. 7. Вертикальна швидкість сировини, $\cdot 10^{-2}$ м/с
(горизонтальний поперечний переріз бункеру в зоні з'єднання з живильним патрубком)

Все це обумовлює низькі витратні характеристики бункеру досліджуваного типу та, відповідно, знижену питому продуктивність емульситатору та підвищений нагрів сировини при подрібненні.

На основі результатів проведених досліджень можна виробити наступні рекомендації для розробки нової конфігурації бункера емульситатора з підвищеною швидкістю подачі сировини до різального вузла:

- уникати зміни напрямку руху сировини на 90º, рух сировини в бункері повинен бути співнаправлений з рухом у напрямку до різального вузла;
- уникати створення зустрічних потоків сировини в бункері з метою попередження їх взаємного гальмування;
- уникати живлячих патрубків, щонайменше їх довжина повинна бути мінімальною;
- зменшити тертя сировини об стінки бункеру за рахунок вибору раціональних кутів нахилу його стінок;
- зменшити адгезію сировини об стінки бункеру та живлячого патрубку за рахунок обґрунтованого вибору видів конструкційних або оздоблювальних матеріалів.

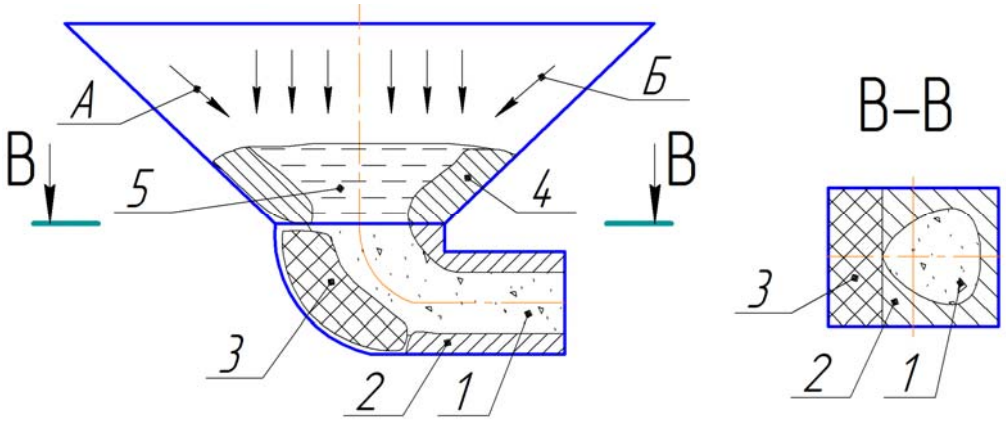


Рис. 8. Характерні зони руху м'ясної сировини в бункері емульситатору:
1 - рух сировини з найбільшою швидкістю; 2 - гальмування сировини внаслідок тертя об стінки живлячого патрубку; 3 - застійна зона в місці зкруглення живлячого патрубку; 4 - гальмування сировини внаслідок тертя об стінки бункеру; 5 - зниження швидкості сировини внаслідок зустрічі різнонаправлених потоків

Висновки

Встановлено, що в бункері емульситатора з горизонтальним живлячим патрубком наявні характерні зони руху сировини, які призводять до її гальмування та, відповідно, до зменшення питомої продуктивності машини та до підвищеного нагріву сировини при її подрібненні в різальному вузлі. Такі зони обумовлені наступним: гальмуванням сировини внаслідок тертя об стінки бункеру та об стінки живлячого патрубку, гальмуванням в місці зкруглення живлячого патрубку; зниженням швидкості сировини внаслідок зустрічі різнонаправлених потоків в бункері пірамідальної форми.

Найбільша швидкість руху сировини ($(0,8\text{-}1)\cdot 10^{-2}$ м/с) спостерігається в локальній зоні, яка розташована навколо повздовжньої вісі симетрії живлячого патрубку. Найбільший тиск сировини (4,23 кПа) спостерігається в нижній частині бункеру, в місці зкруглення живлячого патрубку.

Розроблено рекомендації для розробки нової конфігурації бункера емульситатора з підвищеною швидкістю подачі сировини до різального вузла. Напрямками подальших досліджень можуть бути розробка і обґрунтування нової конфігурації бункера з підвищеною швидкістю подачі сировини та розробка нового відповідного компонування емульситатора.

Література

1. Некоз О. І. Обґрунтування шляхів зменшення нагріву фаршу при його подрібненні в емульситаторі / О. І. Некоз, О. В. Батраченко, К. А. Мирошніченко // Вісник ЧДТУ. – 2015. – № 2. – С. 91–98.

2. Вербицький С. Б. Вдосконалення процесу тонкого подрібнення м’ясної сировини та розроблення емульситаторів роторного типу : дис. ... кандидата техн. Наук : 05.18.12 / Вербицький Сергій Борисович. – Київ, 2014. – 284 с.

3. Мирошніченко К. А. Витратні характеристики бункерів емульситаторів / К. А. Мирошніченко, О. В. Батраченко // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький : ХНУ, 2016. – № 5. – С. 14–18.

4. Mincing machine for mincing a product. Patent USA № 2016/0051990 Al, B02C18/304, 25.02.2016.

5. Промисловий каталог фірми «Maschinenfabrik Laska GmbH» [Електронний ресурс]. – Австрія, 2017. – Режим доступу : www.laska.at.

6. Промисловий каталог фірми «Stephan Machinery GmbH & Co.» [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2017. – Режим доступу : www.stephan-machinery.com.

7. Промисловий каталог фірми «KILIA Fleischerei- und Spezial Maschinen Fabrik GmbH» [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2017. – Режим доступу : www.kilia.com.

8. Промисловий каталог фірми «Karl Schnell GmbH & CO. KG» [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2017. – Режим доступу : www.karlschnell.de.

9. Промисловий каталог фірми «Maschinenfabrik Seydelmann KG» [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2017. – Режим доступу : http://www.seydelmann.com.

Рецензія/Peer review : 26.1.2017 р. Надрукована/Printed :18.4.2017 р.
Рецензент: к. т. н. Л. М. Мізнік

УДК 621.7: 519.85

О.В. ПЕТРОВ, В.А. ПОДОЛЯК, С.О. ГУНДЕРЧУК
Вінницький національний технічний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НА МІЦНІСТЬ ДЕТАЛЕЙ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТОСУВАНЬ

В роботі представлені комп'ютерні програми, які дозволяють розраховувати величину напруження у небезпечному перерізі деталі верстатного пристосування при її розтягу (стиску) або згині. Розроблені програми мають зручний інтерфейс, а також містять довідникові дані про вид навантаження, матеріал та форму поперечного перерізу досліджуваних деталей. Результати розрахунків можна використовувати під час проектування нових верстатних пристосувань або удосконалення існуючих конструкцій.

Ключові слова: напруження, розтяг, згин, верстатне пристосування, комп'ютерна програма.

O.V. PETROV, V.A. PODOLYAK, S.O. GUNDERCHUK
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

THE USE OF APPLICATION SOFTWARE FOR STRENGTH CALCULATIONS OF MACHINE-TOOL ACCESSORIES

Abstract – in this work the authors developed a computer program to calculate the strength of parts clamping devices, machine tool adaptations in their tensile (compression) or bending. Presented programs are user friendly interface data entry, taking into account the size and type of load, material and shape of the cross-sectional details that can count the value of tension in a dangerous section of the study details a clamping device machine tool accessories. The program also incorporated a lot of reference values permissible tensile stress (compression) and bending for all possible calculations by comparing calculated values of voltage allows to determine the ability of components to withstand specified loading conditions in a dangerous section. Obtained using the developed programs strength calculation results can be used in actual production during the design of new machine tool clamping devices and adaptations to improve existing designs, as well as study preparation design engineers.

Keywords: stress, stretch, bend, machine tool accessories, computer software.

Вступ

Технологічні операції механічної обробки у машинобудівному виробництві виконуються з використанням різноманітного технологічного оснащення. Одним із основних різновидів технологічного оснащення є верстатні пристосування, які використовуються для установлення та закріплення заготовок під час дії них різальних інструментів [1-2].

Верстатні пристосування мають широку різноманітність та класифікацію, що залежать від типу виробництва, цільового призначення та інших ознак. При одиничному та дрібносерійному виробництвах деталей нескладної форми використовують в основному універсальні типи верстатних пристосувань, що характеризуються простотою конструкції та застосуванням стандартизованих елементів. При масовому та середньосерійному виробництвах деталей середньої та складної форм використовуються спеціальні типи верстатних пристосувань, що характеризуються складністю конструкції, зумовлену адаптацією їх до форми оброблюваної заготовки. Проектування спеціальних верстатних пристосувань займає великий обсяг роботи, особливо розрахункової. Час такої роботи можна значно зменшити за допомогою використання комп'ютерних технологій, які допомагають не тільки виконувати комп'ютерне креслення і тривимірне моделювання об'єктів проектування, а також дозволяють виконувати різноманітні розрахунки силових та конструктивних параметрів, міцності деталей та інші [3].

Міцність деталей конструкції – одна із основних вимог, що висуваються до верстатного пристосування. Під міцністю розуміють здатність деталей і їх матеріалу чинити опір руйнуванню під дією внутрішніх напружень, що виникають від зовнішніх сил. Це дозволяє деталям і пристосуванню в цілому виконувати своє призначення, не руйнуючись протягом заданого періоду часу. Розрахунок деталей пристосування на міцність слід проводити в тому випадку, якщо на пристосування діють достатньо великі сили, що здатні призвести до руйнування його деталей, як в процесі обробки, так і при закріпленні заготовки [4].

Постановка задачі

Існують різні методики розрахунків деталей пристосувань на міцність, серед них найбільш поширена методика, заснована на розрахунку за номінальними допустимим напруженнями. Ця методика є достатньо простою, але характеризується меншою точністю, ніж інші методики. Її суть полягає в перевірці того, чи не перевищують внутрішні напруження в деталі допустимі для даного матеріалу значень при різних видах навантаження, тобто перевіряється виконання умов:

$$\sigma_{Pmax} \le [\sigma_P],\ \sigma_{ЗГmax} \le [\sigma_{ЗГ}],$$

де σ_{Pmax} та $\sigma_{ЗГmax}$ – максимальні розрахункові напруження, що діють в даному перерізі деталі (як правило, в найнебезпечнішому) при його розтягу (стиску) або згині відповідно, МПа;

$[\sigma_P]$, $[\sigma_{ЗГ}]$ – допустимі напруження розтягу (стиску) та згину відповідно, МПа.

Значення допустимих напружень $[\sigma_P]$ та $[\sigma_{ЗГ}]$ наведені у довідниках і залежать від типу та марки

матеріалу деталі, а також від її форми поперечного перерізу та виду навантаження. У таблиці 1 наведені залежності для визначення максимальних напружень розтягу (стиску) або згині деталей різних форм перерізів.

Таблиця 1

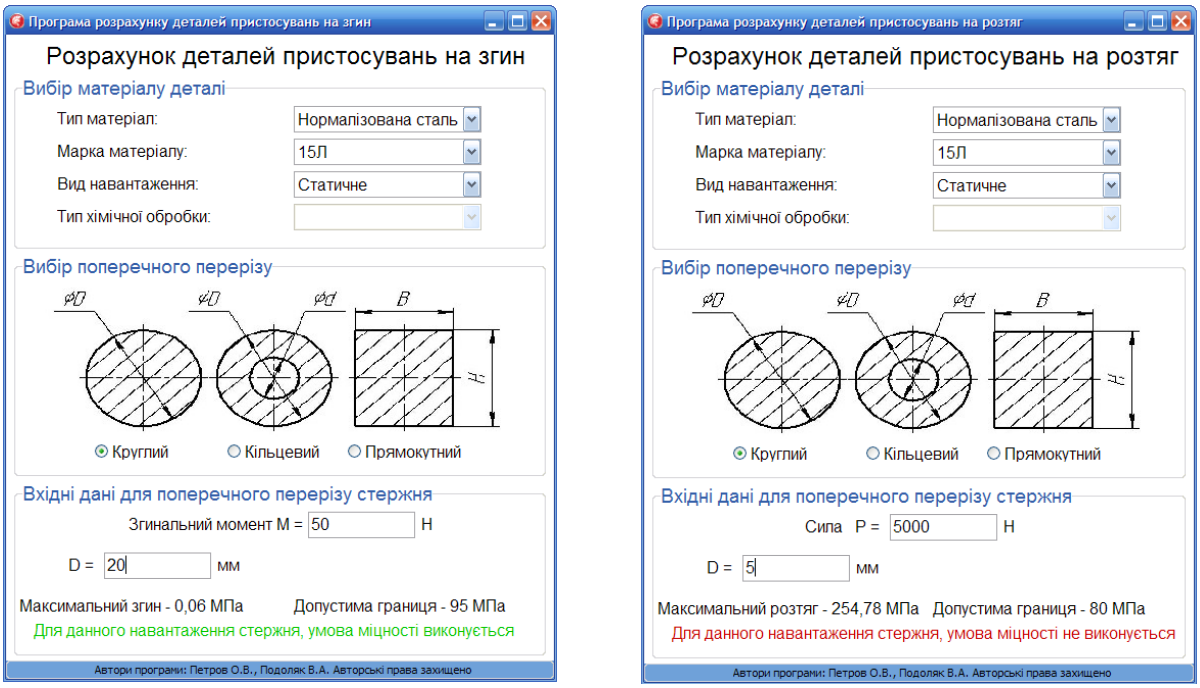
Залежності для розрахунків на міцність

Види деталей та навантаження	Розрахункові формули	Деталі пристосування
Розтяг (стиск) стержня круглого перерізу діаметром d	$\sigma_{P\max} = \dfrac{4 \cdot P}{\pi \cdot d^2}$	Гвинти, болти, шпильки, штоки, тяги, опори
Розтяг (стиск) прямокутного стержня з розмірами перерізу $B \times H$	$\sigma_{P\max} = \dfrac{P}{B \cdot H}$	Штовхачі, ланки затискних механізмів
Розтяг (стиск) стержня кільцевого перерізу із зовнішнім діаметром D і внутрішнім d	$\sigma_{P\max} = \dfrac{4 \cdot P}{\pi \cdot (D^2 - d^2)}$	Штоки, тяги, опори
Згин стержня круглого перерізу діаметром d	$\sigma_{ЗГ\max} = \dfrac{32 \cdot M_{ЗГ}}{\pi \cdot d^3}$	Вали, важелі, прихвати, рукоятки
Згин прямокутного стержня з розмірами перерізу $B \times H$	$\sigma_{ЗГ\max} = \dfrac{6 \cdot M_{ЗГ}}{B \cdot H^2}$	Важелі, прихвати, рейки
Згин стержня кільцевого перерізу із зовнішнім діаметром D і внутрішнім d	$\sigma_{ЗГ\max} = \dfrac{32 \cdot M_{ЗГ}}{\pi \cdot d^3 \cdot \left(1 - \dfrac{d^4}{D^4}\right)}$	Тяги, опори, оправки, рукоятки

Виконання розрахунків аналітичних залежностей наведених у таблиці 1 навіть за допомогою обчислювальної техніки займає багато часу. А якщо ще взяти до уваги необхідність порівняння отриманих результатів зі значеннями з довідникової літератури, то очевидною є актуальність задачі автоматизації виконання розрахунків та подальшого ухвалення рішення щодо достатньої міцності деталі верстатного пристосування на основі порівняння результатів розрахунку і довідникових значень.

Викладення основного матеріалу

На кафедрі технологій та автоматизації (ТАМ) Вінницького національного технічного університету (ВНТУ) розроблено програми для розрахунку згин та розтяг (стиск) деталей. Програми призначена для розрахунку максимального напруження на згин або розтяг (стиск) деталей верстатного пристосування та порівняння отриманого результату з допустимою границею напруження на згин або розтяг (стиск), що відповідає довідниковим даним. Інтерфейс програм представлено на рисунку 1.



а) б)

Рис. 1. Інтерфейси програм для розрахунку на згин (а) та розтяг (б)

Для розрахунку вибирається один із трьох варіантів форми поперечного перерізу заданої деталі:

круглий (діаметром D), кільцевий (зовнішнім діаметром D та внутрішнім діаметром d) та призматичний (висотою H та шириною B). Далі вибирається матеріал деталі, який на вибір може бути: нормалізована сталь, конструкційна сталь або сірий чавун. Для кожного виду матеріалу вибирається відповідна марка. Наприклад для нормалізованої сталі можна вибрати марки 15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л та 55Л (ГОСТ 977-75). Для конструкційної сталі можна вибрати марки: 15, 35, 45 (ГОСТ 1050-88), 20Х, 40Х, 12ХН3А (ГОСТ 4543-71). Також для конструкційної сталі можна обрати вид хімічної обробки – нормалізація чи цементація. Для сірого чавуну можна вибрати марки: СЧ10, СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ25, СЧ30 та СЧ35 (ГОСТ 1412-85). Далі вибирається вид навантаження на деталь, яке в залежності від заданих умов експлуатації верстаного пристосування може бути статичним, змінним та симетричним.

Після вибору форми поперечного перерізу з числовими параметрами, типу та марки матеріалу, а також виду навантаження деталі, слід внести величину діючих зусиль – згинального моменту або сили розтягу (стиску). Після введення даних, результати розрахунку з'являються одразу та записуються як «Максимальний згин» або «Максимальний розтяг». Поруч розташовується величина «Допустимої границі», що відповідає табличному значенню для заданих умов згину або розтягу (стиску). Якщо величина розрахованого максимального згину або розтягу (стиску) менша табличної величини допустимої границі, то з'являється повідомлення буквами зеленого кольору «Для даного навантаження стержня умова міцності виконується»
(рис. 1, б), в іншому випадку з'являється повідомлення буквами червоного кольору «Для даного навантаження стержня умова міцності не виконується» (рис. 1, а).

Значною перевагою розроблених програм є концентрація великої кількості довідникових даних, що передбачає виконання розрахунків на згин або розтяг (стиск) з використанням понад 400 варіантів характеристик деталі та умов її експлуатації у затискному пристрої верстаного пристосування.

Висновки

Розроблено програми для розрахунків на міцність деталей верстатних пристосувань, що дозволяють визначати величину напруження у небезпечному перерізі при їх згині або розтягу (стиску). Отримане значення максимального згину або розтягу (стиску) програма автоматично порівнює із допустимою величиною, що дозволяє визначити здатність деталі заданої форми поперечного перерізу, матеріалу, марки, виду та величини навантаження задовольнити умови міцності, тобто ухвалити рішення про можливість застосування досліджуваної деталі у силовому механізмі закріплення.

Програми містять значну базу значень допустимих границь міцності для згину та розтягу (стиску), що дозволяє охопити більшість випадків застосування деталей різних форм і характеристик у конструкціях затискних пристроїв верстатних пристосувань.

Література

1. Станочные приспособления : справочник : в 2 т. Т. 1 / редкол. : Вардашкин Б. Н. (председатель) [и др.]. – М. : Машиностроение, 1984. – 692 с.

2. Горохов В. А. Проектирование и расчет приспособлений : учебное пособие для студентов вузов машиностроительных спец. / Горохов В. А. – Минск : Выш. школа, 1986. – 238 с.

3. Засоби автоматизації розрахунків параметрів затискних пристроїв для технологічних операцій механічної обробки / О. В. Петров, С. І. Сухоруков, М. В. Трофимчук, В. А. Подоляк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький, 2015. – № 6. – С. 29–33.

4. Станочные приспособления : справочник : в 2 т. Т. 2 / редкол. : Вардашкин Б. Н. (председатель) [и др.]. – М. : Машиностроение, 1984. – 656 с.

5. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 60662. Комп'ютерна програма «Розрахунок деталей пристосувань на згин» / О.В. Петров, В.А. Подоляк, Є.С. Гарбуз. – Зареєстр. 16.07.2015.

6. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 60663. Комп'ютерна програма «Розрахунок деталей пристосувань на розтяг» / О.В. Петров, В.А. Подоляк, Є.С. Гарбуз. – Зареєстр. 16.07.2015.

Рецензія/Peer review : 5.1.2017 р. Надрукована/Printed :18.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Іскович-Лотоцький Р.Д.

УДК 621.891

Н.М. СТЕБЕЛЕЦЬКА
ВПНУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

ОЦІНКА ЕНЕРГОНАВАНТАЖЕНОСТІ ПАР ТЕРТЯ ГАЛЬМІВНИХ ПРИСТРОЇВ

У роботі обґрунтовано закономірності зміни температур у фрикційних вузлах стрічково-колодкових гальм і температурних градієнтів в ободі металевого фрикційного елемента, які суттєво впливають на знософрикційні властивості матеріалів пари тертя.

Ключові слова: гальмівні пристрої, пари тертя, фрикційні елементи.

N.M. STEBELETSKA
Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine "Berezhany Agrotechnical Institute"

EVALUATION OF POWER LOAD OF FRICTION PAIRS OF BRAKING DEVICES

It is proved change regularities of temperatures in friction units of band-shoe brakes and temperature gradients in the rim of metal friction element that significantly influence friction material properties of friction couple. It is done mathematical analysis of heat processes and steam friction braking devices. It is determined analytical dependence: working temperature (polished) surface of metal rim friction element and temperature difference on his thickness (temperature difference between polished and matte surface); temperature gradients arising in elements of friction unit. It is also established intensity changes of thermal state elements of friction couple in contact zone characterizing distribution of heat flow between them.

Keywords: braking devices, friction units, frictional elements.

Постановка проблеми. Металеві фрикційні елементи стрічково-колодкових гальм на різних стадіях їхнього нагрівання в процесі гальмування та вимушеного і природного охолодження між гальмуваннями суттєво впливають на закономірності взаємодії пар тертя гальмівних пристроїв. Наявність високих температур і температурних градієнтів на поверхнях тертя фрикційних елементів гальмівних пристроїв , а також по їх товщині, призводять до зміни знософрикційних властивостей матеріалів їх пар тертя. В останніх відбуваються структурні перетворення, процеси теплообміну в парах тертя, а також процеси зношування та руйнування їх приповерхневих шарів. Останні процеси стосуються матеріалів пар тертя, які обумовлені контактною взаємодією, яка супроводжується сумісною дією поверхневої температури і температурного градієнта.

Приповерхневі шари фрикційних накладок впливають на коефіцієнти розподілення теплових потоків між поверхнями контактно-термічної взаємодії пар тертя, не дивлячись на те, що остання частина накладок по їх товщині виконує функції потужного теплоізолятора, та приймають безпосередню участь у процесах теплооб- міну за схемою «приповерхневі шари фрикційних накладок – приповерхневі шари металевого фрикційного елемента». Сам металевий фрикційний елемент та його приповерхневі шари виконують роль потужного акумулятора теплової енергії, яка впливає на ефективність та довговічність пар тертя гальмівних пристроїв. Стан останнього залежить не тільки від його температур, але й від градієнта температур по товщині ободу металевого фрикційного елемента.

Аналіз досліджень. У галузі дослідження теплових процесів та навантаженості фрикційних вузлів різних видів гальмівних пристроїв широко відомі праці М.П. Александрова, М.А. Бухаріна, Л.Я. Будікова, О.І. Вольченка, В.Ф. Гайдамаки, Б.Б. Генбома, Г.С. Гудза, В.А. Дем'янюка, І.В. Крагельського, М.А. Подригала, А.М. Туренка, Я.Є. Фаробіна, В.М. Федосеєва, А.В. Чичинадзе, H. Dorner, T. Newcomb, G. Fazekas та інших вчених. Впровадження результатів їхніх досліджень покращило знософрикційні властивості пар тертя і, як наслідок, експлуатаційні параметри гальмівних пристроїв. Проте у зазначених роботах не приділено уваги тепловій динаміці приповерхневих шарів фрикційних елементів та не досліджено вплив теплових струмів в парах тертя на розвиток температур. Аналітичні вирази для визначення поверхневої температури фрикційних вузлів стрічково-колодкових гальм не віддзеркалюють основних властивостей процесу теплопередачі, який відбувається від міжконтактного середовища через товщину ободу гальмівного шківа до навколишнього середовища, з одного боку, і від міжконтактного середовища через приповерхневий шар накладки в її тіло, з другого.

Метою даної роботи є оцінка рівня контактно-термічної взаємодії пар тертя гальмівних пристроїв, та її вплив на закономірності зміни теплового стану їхніх фрикційних вузлів.

Результати досліджень. Процес гальмування, який реалізується гальмівним пристроєм (стрічково-колодковими гальмами), може бути нетривалим (одиничне гальмування), тривалим і довготривалим (циклічне і тривале гальмування). Від тривалості процесу залежить глибина проникнення теплових хвиль у тіло металевого елемента тертя. Унаслідок цього він з плином часу стає акумулятором теплової енергії, яка здатна спричинити фізико-хімічні зміни у приповерхневих шарах фрикційних накладок. Припустимо, що температура поверхневих шарів змінюється по глибині, як у напівнескінченному тілі з джерелом тепловиділення потужністю Q. Виходячи з цього, рівняння теплопровідності має вигляд [1]:

$$\frac{\partial \Delta t}{\partial \tau_T} = a \frac{\partial^2 \Delta t}{\partial z^2}. \qquad (1)$$

Рівняння (1) задовольняє таким початковим і граничним умовам:

$$\left.\begin{aligned} &A_1\lambda\frac{\partial\Delta t}{\partial z}-A_2\alpha\Delta t+Q=0 \quad \textit{за}\ \text{умови, що}\ z=0,\\ &\Delta t(z,0)=0. \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

Рівняння (2) є необхідним і достатнім у випадку автостійкості диференціального рівняння (1), тобто у випадку еквівалентності між двома тепловими станами гальмівного шківа.

У рівняннях (1) і (2) використано такі умовні позначення:

$\Delta t=t(z,\ t)-t_B$ – перепад поверхневих температур між полірованою (робочою) або матовими (неробочими) поверхнями металевого елемента тертя і повітрям, яке їх омиває; z – координата по товщині ободу металевого елемента тертя; τ – час гальмування; $t(z,\ t)$ – змінна температура на поверхнях металевого елемента тертя; a, λ – коефіцієнти температуропровідності і теплопровідності матеріалу металевого елемента тертя; α – коефіцієнти складного теплообміну (радіаційного + конвективного) від полірованої і матових поверхонь металевого елемента тертя в омиваюче їх повітря; A_1, A_2 – номінальна площа тертя (залежить від коефіцієнта взаємного перекриття пар тертя, складає 0,75 від площі полірованої поверхні шківа) і тепловідвідні площі поверхонь металевого елемента тертя; Q – кількість теплоти, яка виділяється при терті за одиницю часу в процесі гальмування.

Переходячи до безрозмірних координат і використовуючи критерії кондуктивного і конвективного теплообмінів, а також форми подібності циліндричної оболонки металевого елемента тертя, маємо:

$$\Delta t=\frac{t(z,\tau_\Gamma)-t_n}{t_n};\quad \overline{Z}=\frac{z}{b};\quad F_0=\frac{a\tau_\Gamma}{d^2};\quad Pd=\frac{md^2}{a};\quad k=\frac{A_2}{A_1};\quad \overline{Q}=\frac{b}{\delta}\frac{\Delta t}{t_n}, \tag{3}$$

де d, b, δ – діаметр робочої поверхні металевого елемента тертя, ширина і товщина його ободу; F_0 – критерій Фур'є, який характеризує зв'язок між швидкістю зміни температурного поля, фізичними властивостями і розмірами ободу гальмівного шківа. Він виражає відповідність між темпом зміни умов в омиваючому повітрі і швидкістю перебудови температурного поля всередині ободу гальмівного шківа [2]; Pd – критерій Предводителєва, який являє собою максимальну швидкість зміни відносної питомої потужності джерела по критерію Фур'є. Є величиною відношення інтенсивностей зміни температур середовища і твердого тіла [2]; m – темп нагрівання (охолодження) металевого елемента тертя; Δt – перепад температур між внутрішньою і зовнішньою поверхнями ободу металевого елемента тертя.

У свою чергу, вираз (3) представимо у вигляді:

$$k_1\frac{A_2}{A_1}=f\rho V;\quad \frac{A_2}{A_1}=\frac{f\rho V}{k_1}, \tag{4}$$

де k_1 – безрозмірна величина, яка враховує умови роботи фрикційних вузлів гальмівних пристроїв (для випадку безперервної роботи k_1=0,4 кВт/м^2, при роботі з перервами k_1=0,8 кВт/м^2 [1]); f – динамічний коефіцієнт тертя ковзання в парі "металевий елемент - фрикційна накладка"; V – швидкість ковзання в парі тертя.

Диференціальне рівняння (4) з його початковими і граничними умовами (2) представимо у вигляді:

$$\frac{\partial\Delta\bar{t}}{\partial\overline{Z}}=\frac{\partial^2\Delta\bar{t}}{\partial\overline{Z}^2}; \tag{5}$$

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\partial\Delta\bar{t}}{\partial\overline{Z}}-kF_0Pd\Delta\bar{t}+\overline{Q}=0 \quad \text{при}\ Z=0\quad (x=0),\\ &\Delta\bar{t}(Z,0)=0. \end{aligned}\right\} \tag{6}$$

При узагальнених змінних $X=\dfrac{Z^2}{a\tau_\Gamma}=\dfrac{\overline{Z}^2}{\tau_\Gamma}$ диференціальне рівняння (6) має вигляд:

$$4x\frac{d^2\Delta\bar{t}}{dx^2}+(2+x)\frac{d\Delta\bar{t}}{dx}=0, \tag{7}$$

розв'язок якого представлено:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{d\Delta\bar{t}}{dx}=C_1e^{-\frac{1}{4}x}x^{-\frac{1}{2}};\\ &\frac{d\Delta\bar{t}}{d\bar{x}}=\frac{2\bar{x}}{\tau_r}\frac{d\Delta\bar{t}}{dx}=\frac{2c_1}{\sqrt{\tau_r}}C_2^{-\frac{1}{4}x};\\ &\Delta t=C_1\int e^{-\frac{1}{4}x}X^{-\frac{1}{2}}dx+C_2. \end{aligned}\right\}. \tag{8}$$

Розв'язок рівняння (8) повинен задовольняти умовам (6) при x = 0:

$$\left.\begin{aligned}&\frac{2a}{\sqrt{\tau_r}}-kF_0Pd\left[\left(a\int e^{-\frac{1}{4}x}x^{-\frac{1}{2}}dx\right)_{\min}+C_2\right]+\overline{Q}=0,\\&\text{при } x=\infty;\ \Delta\bar{t}=0.\end{aligned}\right\}\tag{9}$$

Розв'язок диференціального рівняння (7), що задовольняє умові (9), має вигляд:

$$\Delta\bar{t}=\frac{\overline{Q}}{kF_0Pd+\frac{1}{\sqrt{\pi\bar{\tau}_\Gamma}}}\left[1-ert\left(\frac{\bar{Z}}{2\sqrt{\bar{\tau}_2}}\right)\right]=\frac{\overline{Q}}{kF_0Pd+\frac{1}{\sqrt{\pi\bar{\tau}_\Gamma}}}ert\left(\frac{\bar{Z}}{2\sqrt{\bar{\tau}_\Gamma}}\right).\tag{10}$$

У вищенаведених залежностях використано позначення: C, C_1, C_2 – сталі інтегрування;

$ert\left(\frac{\bar{z}}{2\sqrt{\bar{\tau}_\Gamma}}\right)=\frac{1}{\sqrt{\pi}}\int_0^{y^2}C^{-\frac{1}{4}x}x^{-\frac{1}{2}}dx=4\cdot\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{u}e^{-u^2}du$ – інтеграл Гауса.

Температуру робочої поверхні гальмівного шківа визначено з (10) при $Z = 0$:

$$\Delta\bar{t}_H\left(\bar{\tau}_\Gamma\right)=\frac{\overline{Q}}{kF_0Pd+\frac{1}{\sqrt{\pi\bar{\tau}_\Gamma}}}.\tag{11}$$

Із залежності (11) отримали умову усталеного теплового стану ободу гальмівного шківа при деякому перепаді температур між його поверхнями:

$$\Delta\bar{t}=\frac{\overline{Q}}{kF_0Pd}=\frac{\overline{Q}}{km_H\bar{\tau}_r}.\tag{12}$$

У залежності (12) значення темпів нагрівання ($m_н$) ободу гальмівного шківа визначається за залежністю, наведеною в роботі [3], а кількість теплоти (Q) знаходиться, виходячи з величин генерованих теплових струмів на поверхнях тертя стрічково-колодкового гальма.

Теплота, що розвивається на поверхнях тертя фрикційного вузла, розподіляється між деталями відповідно до коефіцієнта розподілення теплових потоків. Величина зазначеного коефіцієнта визначається співвідношенням теплофізичних характеристик матеріалів деталей, що труться, та їхніх геометричних розмірів.

Інтенсивність теплообміну від металевих елементів тертя оцінювали з урахуванням фізико-хімічного стану приповерхневого шару фрикційної накладки і значень коефіцієнтів розподілення теплових потоків між робочими деталями пари тертя.

Коефіцієнт теплопередачі в теплообмінному процесі, що відбувається через «середовище міжконтактної зони – металевий елемент тертя – омиваюче повітря», визначається за залежністю:

$$K=\frac{1}{\frac{1}{\alpha_1}+\frac{\delta_1}{\lambda_1}+\frac{1}{\alpha_2}},\tag{13}$$

де α_1, α_2 – коефіцієнти тепловіддачі від міжконтактного середовища до робочої (полірованої) поверхні металевого елемента тертя і від неробочої (матової) його поверхні омиваючому повітрю; δ_1 – товщина ободу металевого елемента тертя; λ_1 – коефіцієнт теплопровідності металу, з якого виготовлено шків.

Коефіцієнт теплопередачі в теплообмінному процесі, що відбувається через «середовище міжконтактної зони – приповерхневий шар фрикційної накладки – тіло фрикційної накладки – гальмівну стрічку – омиваюче повітря», визначаємо за формулою:

$$K_1=\frac{1}{\frac{1}{\alpha_1}+\left(\frac{\delta_ш}{\lambda_ш}+\frac{\delta_н}{\lambda_н}+\frac{\delta_c}{\lambda_c}\right)+\frac{1}{\alpha_3}},\tag{14}$$

де α_3 – коефіцієнт тепловіддачі від гальмівної стрічки (поверхня матова) до омиваючого повітря; $\delta_ш$, $\delta_н$, δ_c – товщини приповерхневого шару фрикційної накладки, власне накладки та гальмівної стрічки; $\lambda_ш$, $\lambda_н$, λ_c – коефіцієнти теплопровідності приповерхневого шару накладки, власне накладки та гальмівної стрічки.

Якщо металевий елемент тертя гальмівного пристрою досяг стабілізаційного теплового стану, процес теплопередачі відбувається у зворотному напрямку через "омиваюче повітря – металевий елемент тертя – середовище міжконтактної зони – приповерхневий шар фрикційної накладки". Коефіцієнт теплопередачі в цьому випадку визначається за формулою:

$$K_3=\frac{1}{\frac{1}{\alpha_2}+\frac{\delta_1}{\lambda_1}+\frac{1}{\alpha_1}+\frac{\delta_ш}{\lambda_ш}}.\tag{15}$$

Особливістю залежності (15) є те, що в ній враховується складова $\left(\frac{\delta_{ш}}{\lambda_{ш}}\right)$ приповерхневого шару фрикційної накладки, яка спричинила інверсію теплового потоку від зовнішньої поверхні ободу металевого елемента тертя в бік його робочої поверхні.

Виходячи із залежностей (13) - (15) для визначення коефіцієнтів теплопередачі у парах тертя, визначимо коефіцієнти розподілення теплових потоків між елементами фрикційного вузла під час гальмування:

$$P_{т.п.} = \frac{\sum K'_{ср}}{\sum K'_{ср} + \sum K''_{ср}}, \tag{16}$$

де $\Sigma K'_{ср}$ – середня величина коефіцієнтів теплопередачі при теплообмінному процесі, що відбувається через "середовище міжконтактної зони – металевий елемент тертя – омиваюче повітря" протягом гальмування; $\Sigma K''_{ср}$ – середня величина коефіцієнтів теплопередачі при теплообмінному процесі, який відбувається через "середовище міжконтактної зони – приповерхневий шар фрикційної накладки – тіло фрикційної накладки – гальмівну стрічку – омиваюче повітря" за час гальмування.

Для визначення коефіцієнта розподілення теплових потоків при досягненні металевим елементом тертя стабілізаційного теплового стану в залежність (16) замість складової $\Sigma K'_{ср}$ необхідно підставити вираз (15).

Висновки. Отримано аналітичні залежності для визначення температур робочої (полірованої) поверхні металевого елемента тертя і температурного градієнта між полірованою та матовою його поверхнями на основі рівняння теплопровідності ободу металевого елемента тертя при різних початкових і граничних умовах з використанням критеріїв конвективного та кондуктивного теплообміну, а також критеріїв теплопередачі від міжконтактного середовища крізь обід до омиваючого повітря. А також встановлено, що інтенсивність зміни теплового стану елементів пар тертя в зоні контакту характеризують коефіцієнти розподілення теплових потоків між ними.

Література

1. Чичинадзе А.В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 2003. – 575 с.

2. Кершенбаум В.Я. Механо-термическое формирование поверхностей трения / В.Я. Кершенбаум. – М. : Машиностроение, 1987. – 232 с.

3. Стебелецька Н.М. Обґрунтування закономірностей зміни темпів нагрівання фрикційних елементів

4. стрічково-колодкового гальма / Н.М. Стебелецька // Проблеми трибології (Problems of Tribologi). – 2015. – № 4. – С. 69–73.

5. Кіндрачук М.В. Трибологія / М.В. Кіндрачук, В.Ф. Лубенець, М.І. Пашечко, Є.В. Корбут. – Київ : Вид-во нац. авіац. ун-ту: "НАУ-друк", 2009. – 392 с.

6. Стрічково-колодкові гальма / [Є.І. Крижанівський, М.О. Вольченко, Д.О. Вольченко та ін.]. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2007. – Том 2. – 215 с.

7. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия / И.Г. Горячева. – М. : Наука, 2001. – 478 с.

Рецензія/Peer review : 13.1.2017 р. Надрукована/Printed :18.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Диха О.В.

УДК 624.191.814

Е.А. ЯРЕМЕНКО
Одесская государственная академия строительства и архитектуры
Н.А. ЯРЕМЕНКО, И.Н. МИРОНЕНКО
Одесский национальный морской университет

РАСЧЕТ ЗАМКНУТЫХ РАМ

В работе приведена методика расчета замкнутых рам в грунте, учитывающая вязкоупругие свойства материала рамы и грунта. Пример расчета железобетонной рамы прямоугольного сечения на упругом основании выполнен при вертикальном и боковом давлении. По результатам рассмотрены три комбинации длительных модулей деформаций бетона рамы и грунта. Для сравнения приведены результаты расчета без учета бокового давления. Происходящее вследствие ползучести изменение модулей упругости материала рамы и грунта приводит к перераспределению усилий в раме.

Ключевые слова: грунт, рама, распределение усилий.

H.A. YAREMENKO
Odessa State Academy of construction and architecture
N.A. YAREMENKO, I.N. MIRONENKO
Odessa national Maritime University

CALCULATION OF CLOSED FRAME

The paper shows the method for calculating the closed frame in the ground, taking into account the viscoelastic properties of the frame material and soil. An example of calculating a reinforced concrete frame of rectangular cross-section on an elastic base is made at vertical and sidewise pressures. Based on the results, three combinations of long modulus of deformation of the frame and soil concrete are considered. For comparison, the calculation results are given without taking into account the lateral pressure. The resulting change in the modulus of elasticity of the frame and soil material due to creep results in a redistribution of forces in the frame.

Keywords: soil, frame, distribution efforts.

Введение. Одним из направлений усовершенствования строительных конструкций является развитие методов расчета, которые учитывают действительные свойства материалов строительных конструкции и грунта. Вследствие контакта с грунтом, обладающим реологическими свойствами, конструкция представляет собой существенно неоднородную систему.

Цель статьи – методика расчета и анализ распределения усилий в раме на упруго-вязком основании.

Изложение основного материала исследования. *Метод Горбунова-Посадова при расчете короткой полосы***.** Метод Горбунова-Посадова [1] использует две основные формулы. Первая из них – дифференциальное уравнение изгиба полосы, которое в приведенных абсциссах имеет вид

$$\frac{E_1 J}{\left(1-\nu_1^2\right) b' l^4} Y^{IV}(\xi) = q(\xi) - p(\xi) \tag{1}$$

Вторая формула представляет собой уравнение перемещений (осадок) поверхности грунта при нагрузке ее давлением, передаваемым полосой, равным по абсолютной величине реактивному давлению грунта на полосу. Выражение осадок грунта в условиях плоской задачи при давлениях на грунт p (в кН/м^2), непрерывно распределенных под всей полосой, получают интегрированием формулы перемещений поверхности упругого полупространства от нагрузки p' (в кН/м), распределенной по бесконечной прямой. В приведенных абсциссах это уравнение после замены $p' = lp(\bar{\xi})d\xi$ имеет вид

$$w(\xi) = -\frac{2l\left(1-\nu_0^2\right)}{\pi E_0} \int_{-(1+\xi)}^{(1-\xi)} p(\bar{\xi}) \ln \rho d\varphi + C \tag{2}$$

Задача заключается в том, чтобы найти закон распределения реактивных давлений $p(\xi)$ удовлетворяющий следующим требованиям:

а) реактивные давления и внешняя нагрузка на полосу должны вместе удовлетворять двум условиям статики, т. е. полоса должна быть уравновешенной:

$$g(\xi) = q(\xi) - p(\xi), \qquad g(\xi) = \partial^2 M / \partial x^2 \tag{3}$$

Уравнения (3) сводятся к одному уравнению:

$$g = \partial^2 M / \partial x^2 + p$$

б) прогибы полосы должны совпадать с осадкой поверхности грунта под полосой; $Y(\xi) = w(\xi)$.

Основной частью расчета является определение закона реактивных давлений (Па) в виде многочлена десятой степени

$$p(\xi)=\left(a_0+a_2\xi^2+a_4\xi^4+a_6\xi^6+a_8\xi^8+a_{10}\xi^{10}\right)+\left(a_1\xi^1+a_3\xi^3+a_5\xi^5+a_7\xi^7+a_9\xi^9\right) \quad (4)$$

Методика учета вязкоупругих свойств материала рамы и грунта

Решение задач теории ползучести обычно сводится к решению краевых задач, описываемых интегрально-дифференциальными уравнениями, содержащими дифференциальные операторы по координатам и интегральные операторы по времени.

Согласно принципу Вольтерра, решение подобного вида линейных уравнений выполняется так, как если бы интегральные наследственные операторы были константами, и лишь в окончательном результате эти константы опять заменяются операторами $\tilde{E}_i$ [2].

Ограничение применения принципа Вольтерра заключается в том, что тип граничных условий должен оставаться неизменным в течение всего времени. Кроме того, принцип Вольтерра основан на взаимной коммутативности операторов $\tilde{E}_i$, а также коммутативности операций интегрирования по времени и дифференцирования по координатам. Эти условия выполняются, если ядро интегрального оператора разностное, например, экспоненциальное:

$$K(t,\tau)=K(t-\tau)=\frac{\partial}{\partial\tau}\left[EC_0 f(t-\tau)\right]=\frac{\partial}{\partial\tau}\left[EC_0\left(1-e^{\gamma_1(t,\tau)}\right)\right] \quad (5)$$

Предположим теперь, что как материал балки, так и основание наделены вязкоупругими свойствами.

Элементарная теория изгиба балок обобщается на случай наследственно-упругой среды совершенно естественным образом. Если закрепление балки остается неизменным, а нагрузка меняется во времени произвольным образом, то решение получается в результате прямого применения принципа Вольтерра.

Следовательно, модули упругости материала балки E_1 и модуль деформаций основания E_0 должны быть заменены соответствующими операторами

$$\tilde{E}_1=E_1(1-R_1)\,; \qquad \tilde{E}_0=E_0(1-R_0)$$

Тогда уравнения (1) и (2) принимают вид:

$$\frac{\tilde{E}_1(1-R_1)J}{(1-\gamma_1^2)bl^4}Y^{IV}(\xi)=q(\xi)-p(\xi) \quad (6)$$

$$w(\xi)=-\frac{2l(1-\nu_0^2)}{\pi\tilde{E}_0}\int_{-(1+\xi)}^{(1-\xi)}p(\bar{\xi})\ln\rho d\varphi+C \quad (7)$$

Известно также, что при стационарных вынужденных деформациях $\varepsilon(t_0)=\varepsilon_0=const$ напряжение σ^* в элементах, обладающих ползучестью, связно с упруго-мгновенным напряжением $\sigma(t)$ следующей зависимостью:

$$\sigma^*(t)=\sigma(t)\left[1-\int_{t_0}^{t}\bar{R}(t,\tau)d\tau\right]=\sigma(t)H(t,t_0)\,, \quad (8)$$

где

$$\bar{R}(t,\tau)=R(t,\tau)/E(t)\,; \quad (9)$$

$H(t,t_0)$ - коэффициент затухания напряжений (усилий).

В случае использования теории упругой наследственности [3], т. е. ядра (5)

$$H(t,t_0)=(1+\varphi e^{-r(t,t_0)})/(1+\varphi)\,, \quad (10)$$

где

$r=\gamma_1(1+\varphi)$, φ - характеристика ползучести.

При $t\to\infty$ $H(t,t_0)=1/(1+\varphi)$, (11)

т. е. модуль деформации E_i должен быть заменен длительным модулем деформации $E_i/(1+\varphi)$.

В решении задачи с учетом ползучести изменяется величина показателя гибкости полосы:

$$t=\frac{1-\nu_1^2}{1-\nu_0^2}\cdot\frac{3\pi E_0H_0(t,t_0)}{E_1H_1(t,t_0)h^3}\,. \quad (12)$$

В теории Сен-Венана распределение касательных напряжений зависит от коэффициента Пуассона ν; заменяя его оператором $\tilde{\nu}$, мы можем рассчитать перераспределение напряжений со временем. Это перераспределение незначительно; как установил Работнов [2], оно соответствует переходу от мгновенного коэффициента Пуассона ν $(0.25\div0.4)$ к его предельному значению $\nu_\infty=0.5$.

Расчет рамы прямоугольного сечения

Прямоугольная железобетонная рама на упругом основании с консолями у нижнего ригеля, вертикальное поперечное сечение которой (Рис. 1) имеет большую протяженность в перпендикулярном чертежу направлении. Выделенный для расчета в поперечном направлении элемент рамы шириной $b'=1$ м

принимает по верхнему ригелю равномерно распределенную нагрузку интенсивностью p_{vp} (Па), а по нижнему ригелю — нагрузку в виде двух сосредоточенных сил по $P_1 = 100$ кН каждая, приложенных на расстоянии 0.79 м от середины пролета. К стойкам приложено боковое давление. Размеры стоек и ригелей даны на рис. 1. Толщина плиты ригеля $h = 0.6$ м. Момент инерции стоек и верхнего ригеля J_2 в 2 раза меньше момента инерции нижнего ригеля J_1 ($J_1 = 2J_2$). Модуль упругости железобетона $E_2 = 265 \cdot 10^2$ МПа, коэффициент Пуассона $v_1 = 1/6$. Расчетное значение модуля деформации основания $E_2 = 95$ МПа, коэффициент Пуассона $v_1 = 0.3$. Расчет производился при высоте засыпки $H_1 = 1.14$ м. В качестве засыпки использована глина с удельным весом $\gamma = 17.5$ кН/м3, углом внутреннего трения $\varphi_i = 32°$ и характеристикой ползучести $\varphi = 1$.

Нормативное давление грунта на образец определялось по формулам [3]:

$$\begin{aligned} p_{vp}(H_1) &= \gamma \times H_1 = 17.5 \times 1.14 = 20 \text{ кН/м} \\ p_{vp}(H_2) &= \gamma \cdot H_2 = 17.5 \cdot 4.14 = 72.45 \text{ кН/м} \\ q &= p_{vp}(H_1) \cdot \mu = 20 \cdot 0.333 = 6.64 \text{ кН/м} \\ aq &= p_{vp}(H_2) \cdot \mu = 72.45 \cdot 0.333 = 24.13 \text{ кН/м} \end{aligned} \tag{13}$$

где $\mu = tg^2(45° - \varphi_n / 2) \approx 0.333$ - коэффициент нормативного бокового давления.

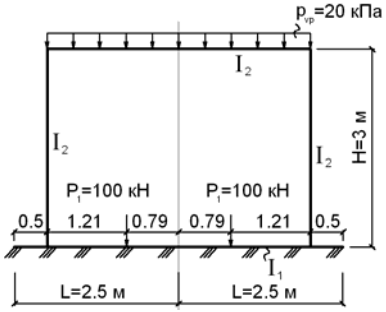


Рис. 1. Прямоугольная железобетонная рама на упругом основании

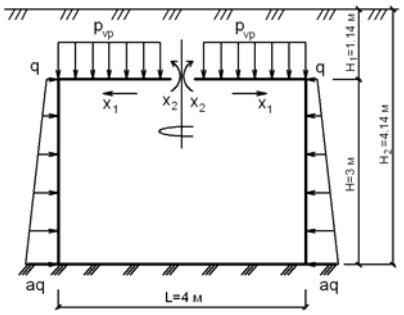


Рис. 2. Схема вертикального и бокового давления грунта на раму

Схема давления на верхний ригель и на стенки показана на рис. 2. Для определения давления грунта, изгибающих моментов и поперечных сил в стойках рамы были использованы формулы:

$$\begin{aligned} q(x) &= q\left(1 + (a-1) \cdot x / H\right) \\ Q(x) &= -qx\left(1 + (a-1) \cdot x / 2H\right) \\ M(x) &= -qx^2 / 2\left(1 + (a-1) \cdot x / 3H\right) \end{aligned} \tag{14}$$

Система канонических уравнений метода сил имеет вид:

$$X_1\alpha_{11} + X_2\alpha_{12} + A_1 = 0, \quad X_1\alpha_{21} + X_2\alpha_{22} + A_2 = 0$$

В первом каноническом уравнении через a_{11} обозначено перемещение в направлении воздействия X_1 от этого же воздействия. Через a_{12} обозначено перемещение в направлении того же воздействия от воздействия X_2. Через A_1 обозначена сумма перемещений в том же направлении от внешних нагрузок P_1 и q. Во втором каноническом уравнении аналогичные обозначения относятся к перемещениям в направлении второго воздействия.

Перемещения a_{ik} слагаются из перемещений вследствие деформаций нижнего ригеля, которые обозначим b_{ik}, и деформаций остальной части рамы, которые обозначим через δ_{ik}:

$$\alpha_{ik} = \delta_{ik} + b_{ik}$$

Величины δ_{ik} определяются при помощи интеграла Мора:

$$\delta_{ik} = \sum \int (M_i + M_k / EJ) ds$$

где M_i и M_k — значения моментов от воздействий i и k.

При учете бокового давления несколько изменились формулы для определения взаимного горизонтального перемещения и угла поворота верхнего ригеля:

$$\delta_{1q} = -(4a + 11) \cdot qH^4 / (120EI), \quad \delta_{2q} = -(a + 3) \cdot qH^3 / (48EI) \tag{15}$$

Увеличение изгибающих моментов вследствие бокового давления грунта учитывалось также при определении коэффициентов b_{iq}.

Будем считать, что вследствие ползучести бетона и грунта изменяются приведенные модули упругости бетона и грунта. Характеристика ползучести $\varphi = 1$: $E_2 = E_2/(1+\varphi)$, $E_0 = E_0/(1+\varphi)$

Рассмотрены три комбинации (сочетания) длительных модулей деформаций бетона рамы и грунта.

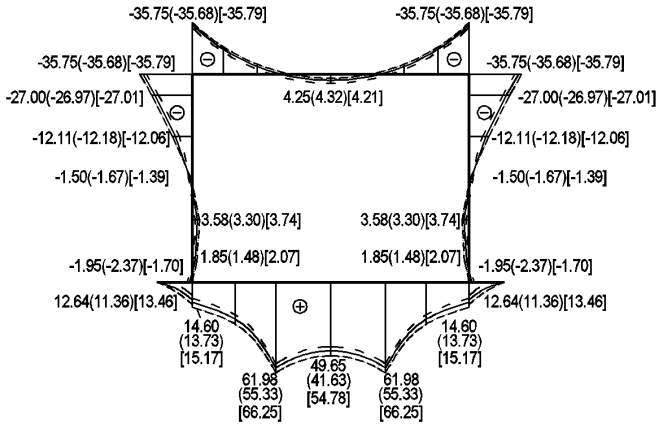


Рис. 3. Окончательная эпюра изгибающих моментов (кНм) в раме:
—— при $E_2 = 265$ (МПа) и $E_0 = 95$ (МПа); ( ) - - - - при $E_2 = 130$ (МПа) и $E_0 = 95$ (МПа); [ ] ---- при $E_2 = 265$ (МПа) и $E_0 = 45$ (МПа)

Для сравнения на рис. 4 приведены результаты расчета без учета бокового давления.

Выводы. Происходящее вследствие ползучести изменение модулей упругости материала рамы и грунта приводит к перераспределению усилий в раме. Наибольшее изменение изгибающих моментов M происходит в нижнем ригеле: при уменьшении E_0 в два раза момент в среднем сечении ригеля увеличивается, по сравнению с “упругим” расчетом, на 25 - 40%.

Наибольшее распределение имеет место в нижнем ригеле, причем боковое давление грунта изменяет не только величину, но и знак изгибающего момента в середине нижнего ригеля.

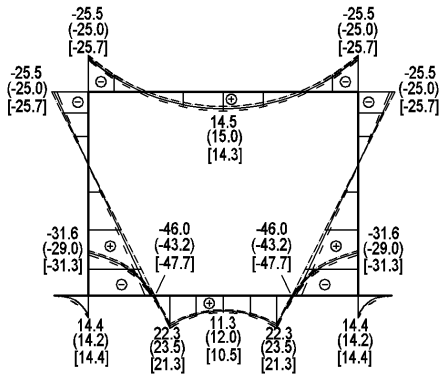


Рис. 4. Окончательная эпюра изгибающих моментов (кНм) в раме (без учета бокового давления грунта): —— при $E_2 = 265$ (МПа) и $E_0 = 95$ (МПа); () - - - - при $E_2 = 130$ (МПа) и $E_0 = 95$ (МПа); [ ] ---- при $E_2 = 265$ (МПа) и $E_0 = 45$ (МПа)

Литература

1. Горбунов-Посадов М. И. Расчет конструкций на упругом основании / Горбунов-Посадов М. И., Маликова Т. А., Соломин В. И. – М. : Стройиздат, 1984. – 679 с.

2. Кузнецов В.Н. Упругое основание. Расчет балок, плит и рам / Кузнецов В.Н. – М. : Госстройиздат, 1952. – 296 с.

3. Прокопович И.Е. Основы прикладной линейной теории и ползучести / Прокопович И.Е. – К. : «Вища школа», 1978. – 140 с.

4. Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел / Работнов Ю.Н. – М. : Физматгиз, 1963. – 636 с.

5. Яременко А. Ф. Механика материалов и конструкций : научное пособие [для студ. высш. техн. научн. завед.] / Яременко А. Ф., Балдук П. Г. – Одесса : Внешрекламмсервис, 2001. – 247 с.

Рецензія/Peer review : 11.1.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією

УДК 621.01

С.О. КОШЕЛЬ, Г.В. КОШЕЛЬ
Київський національний університет технологій та дизайну

АНАЛІЗ ПЛОСКИХ МЕХАНІЗМІВ ЧЕТВЕРТОГО КЛАСУ З РУХОМИМ ЗАМКНЕНИМ КОНТУРОМ, УТВОРЕНИМ ТРЬОМА ШАТУНАМИ ТА КОРОМИСЛОМ

В технологічному обладнанні легкої промисловості все частіше застосовуються складні багатоланкові плоскі механізми. Про актуальність робіт з кінематичного аналізу складних багатоланкових механічних систем твердих тіл дозволяє стверджувати факт відсутності універсального способу кінематичного дослідження таких механізмів. Для кінематичного аналізу швидкостей точок ланок складного плоского механізму четвертого класу графоаналітичним способом розроблено послідовність дій, яка базується на положеннях класичного курсу теоретичної механіки про миттєві центри швидкостей твердих тіл, що мають плоскопаралельний рух. Отримано вектори та розраховано величини швидкостей точок ланок структурних груп четвертого класу другого порядку складного плоского механізму методом, в якому умовно змінено ведучу ланку, що дозволило виконати його дослідження як механізму третього клусу з структурною групою третього порядку.

Ключові слова: механізм; кінематичне дослідження; вектор швидкості; план швидкостей.

S.O. KOSHEL, A.V. KOSHEL
Kyiv National University of Technologies and Design

ANALYSIS FLAT MECHANISMS WITH MOVING THE FOURTH GRADE CLOSED CIRCUIT FORMED BY CONNECTING ROD THREE AND FOLLOWER

In equipment of light industry production increasingly used sophisticated flat mechanisms. The relevance of the work of the kinematic analysis of multilink solids of mechanical systems suggests the lack of a universal method of kinematic study of these mechanisms. For kinematic analysis of velocity the points of complex of flat mechanism fourth grade of using a graphic-analytical method developed sequence of actions based on the provisions of the classic course of theoretical mechanics about of instants centres velocity of solids with planar movement. Calculated vectors and velocity of points of structural groups fourth grade planar second order complex mechanisms. In the method conventionally was modified of the driving link and that allowed him to perform research as a mechanism of structural third group of the third order.

Keywords: mechanism, kinematic research, the velocity vector, plan of the velocity vectors.

Вступ

Проектування нових машин та вдосконалення існуючого технологічного обладнання легкої промисловості пов'язано з методами аналізу плоских механізмів, а саме з досконалістю методів дослідження структурних груп ланок, з яких механізми складаються. Методи кінематичного та динамічного дослідження діад або двоповодкових груп набули найбільшого розповсюдження. Достатньо відомі та розроблені методи аналізу структурних груп з чотирма ланками, що утворюють групи третього класу третього порядку, на базі яких можна структурно синтезувати механізми того ж класу.

Структурні групи з чотирма ланками, що утворюють групи четвертого класу та групи, до складу яких надходять шість та більше ланок з одного боку вже використовуються в механізмах технологічного обладнання легкої промисловості, з іншого – не мають загальновідомих методів кінематичного та динамічного дослідження в зв'язку з тим, що утворюють різноманіття класів та видів структурних груп.

Недостатня розробка методів та способів аналізу таких структурних груп є фактором, що стримує їх використання в машинобудуванні легкої промисловості.

Постановка завдання

Виконати кінематичне дослідження швидкостей точок, що співпадають з геометричними центрами кінематичних пар механізму четвертого класу на основі структурної групи четвертого класу другого порядку з рухомим замкненим контуром, утвореним трьома шатунами та коромислом. Послідовність кінематичного аналізу повинна базуватися на положеннях курсу теоретична механіка про миттєвий центр швидкостей (МЦШ) твердого тіла, що має плоскопаралельний рух та положень курсу теорія механізмів і машин про структурну властивість механізмів змінювати клас в залежності від умовно обраної іншої можливої ведучої ланки механізму, що надходить до складу можливих початкових механізмів в структурі ведених ланок механізму четвертого класу.

Аналіз досліджень та публікацій

Питанням практичного використання та теоретичного дослідження параметрів плоских складних механізмів присвячена значна кількість публікацій. Патентами на корисну модель [1, 2] захищено застосування плоских багатоланкових груп ланок вищих класів в механізмах технологічного обладнання. Теоретичне дослідження та практичне використання механізмів з структурними групами вищого класу розглянуто в ряді робіт [3, 4], зокрема в роботах присвячених обладнанню легкої промисловості [5–9].

Кінематичні дослідження складних плоских механізмів є актуальними тому, що в кожному конкретному випадку необхідно виконувати таку послідовність дій, яка викликана одночасним застосуванням декількох методів кінематичного аналізу, а універсального способу дослідження різноманіття складних механізмів вищих класів, нажаль, не існує.

Формулювання цілей

Визначити вектори швидкостей точок складного плоского механізму, що співпадають з геометричними центрами кінематичних пар структурної групи четвертого класу другого порядку з рухомим замкненим контуром, утвореним трьома шатунами та коромислом.

Результати та їх обговорення

Розглянемо складний плоский шарнірно-важільний механізм четвертого класу (рис. 1), що складається з ведучої ланки 1, яка з'єднана зі стояком 0 та інших ведених ланок 2 ÷5, серед яких ланки 2÷4 – шатуни, 5 – коромисло. Початковий механізм (ланки 0, 1) разом з структурною групою четвертого класу другого порядку, до складу якої надходить сукупність чотирьох ланок 2÷5 (n=5) разом з шістьма кінематичними парами п'ятого класу A, B, C, D, E, K (p_5=6) утворюють механізм четвертого класу з ступенем вільності одиниця за формулою Чебишева: $W=3n-2p_5-p_4$, тобто утворюють механізм з одним ведучим кривошипом. Формула будови складного механізму, що досліджується має вигляд: $1клас\ \ (ланки\ \ 0,1) \rightarrow 4клас\ \ 2порядок\ \ (ланки\ \ 2 \div 5)$.

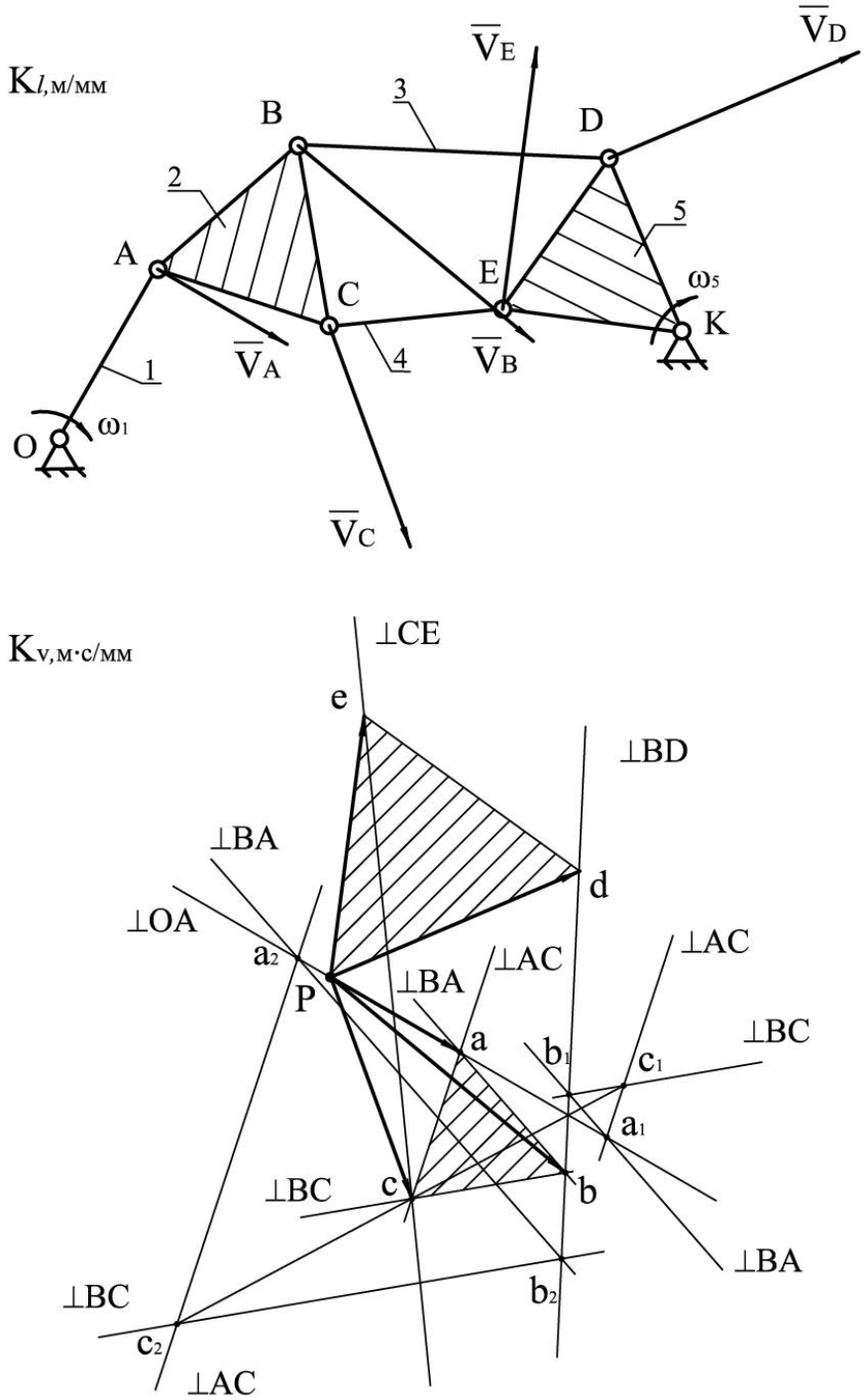


Рис. 1. Кінематична схема та план швидкостей механізму четвертого класу

Структурною особливістю механізму є наявність змінного за формою замкненого контуру B, C, D,

E, який утворений трьома шатунами BC, BD, CE та коромислом DE, при чому один з шатунів, що розташований напроти коромисла та само коромисло мають вигляд складних ланок (шатун 2 та коромисло 5 утворюють з іншими ланками по 3 кінематичні пари). Виконати кінематичний аналіз механізму з застосуванням відомих методів дослідження складних механізмів третього класу графоаналітичним способом не виявляється можливим. Пов'язано таке з тим, що до шатуна 2, який безпосередньо з'єднаний з кривошипом 1 з іншого боку приєднані два шатуни 3, 4, кінематичні параметри точок яких та їх траєкторії є невідомими.

Вхідними параметрами для кінематичного дослідження механізму є кутова швидкість кривошипу 1 (ω_1=const, c^{-1}) та масштаб довжин (Kl, м/мм) кінематичної схеми механізму.

Використовуємо графоаналітичний метод кінематичного дослідження. Задачу розв'язуємо за допомогою основних положень кінематичного аналізу механізмів курсу теорія механізмів і машин та положень курсу теоретична механіка, щодо дослідження плоскопаралельного руху твердого тіла.

Ураховуємо структурну властивість механізмів вищих класів змінювати клас за умови зміни початкового механізму іншим можливим умовним механізмом першого класу [10]. Зрозуміло, що корисним буде випадок, якщо така зміна призведе до зменшення класу механізму.

За початковий механізм обираємо єдино можливий інший варіант - сукупність ланок 0, 5. Механізм набуває вигляду механізму третього класу, формула будови якого $1клас\ \ (ланки\ \ 0{,}5) \rightarrow 3клас\ \ 3порядок\ \ (ланки\ \ 1-4)$.

Кінематичне дослідження починаємо з того, що умовно задаємося кутовою швидкістю ω_5 коромисла 5 за величиною та напрямком, як ланки, яка згідно з формулою будови механізму є іншою умовно можливою ведучою ланкою механізму: на плані швидкостей відкладаємо вектор $\vec{P}d$ довільної довжини за напрямком вздовж перпендикуляра до лінії DK, напрямок кутової швидкості ω_5 обираємо довільно, наприклад, за напрямком руху годинникової стрілки. За теоремою подібності визначаємо на плані швидкостей положення точки «e». На кінематичній схемі визначаємо положення «особливих точок» S_1 , S_2 , S_3, як точок попарного перетину поводків: O,A та B,D; C,E - B,D; O,A - C,E. Складаємо систему векторних рівнянь для визначення швидкості точки S_2, що умовно належить до шатуна 2:

$$\begin{cases} \vec{V}_{S2} = \vec{V}_B + \vec{V}_{S_2;B} = \vec{V}_D + \vec{V}_{B;D} + \vec{V}_{S_2;B} \\ \vec{V}_{S2} = \vec{V}_C + \vec{V}_{S_2;C} = \vec{V}_E + \vec{V}_{C;E} + \vec{V}_{S_2;C} \end{cases} \quad (1)$$

Розв'язуємо систему рівнянь та визначаємо на плані вектор швидкості $\vec{P}s_2$, який за допомогою паралельного переносу будуємо в точці S_2 плану положення механізму. За відомими напрямками векторів швидкостей $\vec{V}_{S_2}$, $\vec{V}_A$ двох точок S_2 та A шатуна 2 визначаємо положення М.Ц.Ш. ланки 2 (точка P_2), як точки перетину перпендикулярів до векторів $\vec{V}_{S_2}$, $\vec{V}_A$, що побудовано з, відповідно, точок S_2, A.

Використовуємо умову належності точок P_2, A, B, C до однієї ланки 2, що має плоскопаралельний рух та те, що положення точки P_2 знайдено для визначення напрямків векторів швидкостей $\vec{V}_B$, $\vec{V}_C$ точок B,C. Вектори $\vec{V}_B$, $\vec{V}_C$ спрямовуються вздовж перпендикулярів до, відповідно, відрізків P_2,B та P_2,C за напрямком миттєвої обертальної кутової швидкості шатуна 2. Згідно з теоремою про визначення швидкостей точок тіла, що має плоскопаралельний рух довжини векторів швидкостей на плані будуть пропорційними до відповідних відстаней цих точок до положення М.Ц.Ш. ланки.

Складаємо систему векторних рівнянь, яка дозволяє визначити довжини векторів $\vec{V}_C$, $\vec{V}_B$ на плані швидкостей за умови побудованих векторів швидкостей точок E та D:

$$\begin{cases} \vec{V}_C = \vec{V}_E + \vec{V}_{C;E} \\ \vec{V}_C \perp P_2C \end{cases} \qquad \begin{cases} \vec{V}_B = \vec{V}_D + \vec{V}_{B;D} \\ \vec{V}_B \perp P_2B \end{cases}, \quad (2)$$

де $\vec{V}_{C;E} \perp CE$, $\vec{V}_{B;D} \perp BD$.

Подальший розв'язок полягає в тому, щоб підібрати довжину вектора $\vec{V}_A$ швидкості точки A такою, яка задовольняла би умові довільно прийнятої величини кутової швидкості шатуна 5. За напрямком швидкість $\vec{V}_A \perp OA$ спрямована в бік спрямування заданої кутової швидкості ω_1 дійсної ведучої ланки 1 механізму, а лінією можливих дійсних положень точки «*a*» на плані є лінія, що проведена через полюс P в напрямку перпендикулярному до осьової лінії ланки OA. З іншого боку для визначення положення точки «*a*» на плані складаємо систему векторних рівнянь:

$$\begin{cases} \vec{V}_A = \vec{V}_C + \vec{V}_{A;C} \\ \vec{V}_A = \vec{V}_B + \vec{V}_{A;B} \end{cases}, \quad (3)$$

де $\vec{V}_{A;C} \perp AC$, $\vec{V}_{A;B} \perp BA$.

Розв'язуємо систему рівнянь (3) та знаходимо вектор $\vec{Pa}$, точка «*a*» якого знаходиться на лінії, що проходить через полюс плану швидкостей Р та є перпендикулярною до кривошипа ОА в напрямку кутової швидкості ω_1, що є підтвердженням правильності розв'язання задачі.

Отриманий план швидкостей сприймаємо як графічну побудову де вектори лінійних швидкостей точок механізму четвертого класу другого порядку побудовані з полюсу в невизначеному масштабі, який за умов заданих розмірів ланок та кутової швидкості дійсної ведучої ланки розрахувати не складає труднощів.

Зауважимо, що на відмінність від відомого метода помилкових положень, який застосовується для аналогічних досліджень структурних груп третього класу та вимагає після отримання дійсної швидкості однієї точки складної ланки структурної групи перебудовувати план для визначення дійсних швидкостей всіх інших точок механізму запропонована послідовність кінематичного аналізу дозволяє дослідити механізми четвертого класу без необхідності перебудовувати план, який був побудований в невизначеному масштабі, а дозволяє підібрати довжину вектора лінійної швидкості точки А кривошипу з подальшим розрахунком дійсного масштабного параметру виконаної графічної побудови.

Висновки

Виконано кінематичне дослідження швидкостей точок механізму четвертого класу на основі структурної групи четвертого класу другого порядку з рухомим замкненим контуром, утвореним трьома шатунами та коромислом, що базується на положеннях про миттєвий центр швидкостей та властивості механізмів змінювати клас за умови обрання іншого початкового механізму, що дозволило зменшити об'єми графічних побудов дослідження. Можна рекомендувати запропоновану послідовність кінематичного аналізу для проведення аналогічних досліджень механізмів четвертого та вище класів.

Література

1. Пат. 2303699. Российская федерация. Секция механизированной крепи / Дворников Л.Т., Князев А.С., Стариков С.П. – Опубл. 27.07.2007.

2. Пат. 2332260. Российская федерація. Двухщековая дробильная машина / Дворников Л.Т., Стариков С.П. – Опубл. 27.08.2008.

3. Чашников Д.О. Кинематическое исследование плоского восьмизвенного механизма шестого класса с поступательной парой / Д.О. Чашников, В.В. Гаряшин // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 7. – С. 231–232.

4. Чашников Д.О. Кинематическое исследование плоского восьмизвенного механизма шестого класса с поступательной парой аналитическим методом / Д.О. Чашников, В.В. Гаряшин // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6. – С. 158–159.

5. Сункуев Б.С. Расчет и конструирование исполнительных механизмов машин : учебное пособие / Б.С. Сункуев. – Витебск : ВГТУ, 2003. – 115 с.

6. Орловський Б. В. Енциклопедія швейного виробництва : навчальний посібник / Б. В. Орловський, Г. Д. Заховавко. – Київ : «Самміт-книга», 2010. – 968 с.

7. Франц В. Я. Оборудование швейного производства : учебное пособие / В. Я. Франц. – М. : Издательский центр "Академия", 2002. – 448 с.

8. Конвал В.П. Універсальний довідник взуттєвика : навчальний посібник / В.П. Конвал, С.С. Гаркавенко, Л.Т. Свістунова. – К. : Лібра, 2005. – 720 с.

9. Сторожев В. В. Машины и аппараты легкой промышленности / В. В. Сторожев. – М. : «Академия», 2010. – 400 с.

10. Кошель С.О. Структурний аналіз складних плоских механізмів четвертого класу / С.О. Кошель, Г.В. Кошель // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 1. – С. 72–79.

Рецензія/Peer review : 28.1.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Місяць В.П.

УДК 629.114.4-047.58:004.9

О.М. ПИЛИПЕНКО, О.В. БАТРАЧЕНКО
Черкаський державний технологічний університет
І.М. ЛИТОВЧЕНКО
Національний університет харчових технологій

МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІКИ СІДЕЛЬНОГО АВТОПОТЯГУ

При крейсерських швидкостях руху автопотягу позаду напівпричепа спостерігається протяжна зона пониженого тиску. Швидкість потоку в даній зоні знижується до 5 разів. Протяжність зони пониженого тиску складає понад 3 м при довжині автопотягу 17 м.

Ключові слова: сідельний автопотяг, напівпричіп, аеродинаміка, чисельне моделювання.

OLEXANDR MIKHAILOVICH PILIPENKO, OLEXANDR VICTOROVICH BATRACHENKO
Cherkassy State Technological University
IGOR MIKOLAEVYCH LITOVCHENKO
National University of Food Technologies

MODELLING OF AERODYNAMICS OF A TRUCK WITH SEMI-TRAILER

Trunk road accounted for a significant share of cargo transportation of Ukraine and many other countries. That is why the profitability of paid great attention to researchers and engineers working in the automotive industry. The profitability of road transport largely depends on fuel efficiency of trucks, which is determined by their aerodynamic characteristics. While the predominant proportion of the drag of the cab and semi-trailer and a rarefaction zone behind semi-trailer. For the development of effective technical solutions to reduce the aerodynamic drag of the train is necessary to investigate thoroughly the phenomena that accompany the process of air flow in the trailer. At cruising speeds, road train rear semi-trailer observed the extended zone of low pressure. The flow rate in this zone is reduced to 5 times. The length of the zone of reduced pressure is more than 3 m when the length of the train 17 m. Keywords: truck, semi-trailer, aerodynamics, simulation.

Постановка проблеми

Магістральні автоперевезення складають значну частку вантажних перевезень України та багатьох інших країн світу. Саме тому підвищенню їх рентабельності приділяється велика увага дослідників та інженерів, які працюють в автомобілебудівній галузі. Рентабельність автоперевезень значною мірою обумовлюється паливною економічністю автопотягів, яка, в свою чергу, визначається багатьма чинниками, в тому числі і їх аеродинамічними характеристиками.

Згідно з [1], при досягненні автопотягом (тут і далі автопотяг – це сідельний тягач з напівпричепом) швидкості 80 км/год частка енергії, що витрачається двигуном на долання опору повітря, сягає 50% від загальних енерговитрат приводу. Відповідно до [2] загальний аеродинамічний опір автопотягу обумовлюється наступними основними чинниками: лобовий опір кабіни та напівпричепу в вертикальній площині; лобовий опір кабіни в горизонтальній площині; дзеркала заднього виду; відстань між кабіною тягача та напівпричепом; колеса та колісні арки; фартухи колісних арок; трансмісія тягача та напівпричепа; зона розрідження позаду напівпричепа. При цьому переважну частку складають лобовий опір кабіни і напівпричепу та зона розрідження позаду напівпричепу (ЗРН), що пояснюється найбільшими площами цих ділянок при фронтальному обтіканні повітрям. На теперішній час розроблені та впроваджені ефективні рішення зі зменшення лобового опору автопотягу (спойлери та кабіна обтічної форми). В той же час відсутні технічні рішення, які здатні істотно зменшити негативний вплив ЗРН на аеродинаміку автопотягу і які були б придатні до практичного використання.

Відомі задні спойлери тієї чи іншої будови, які встановлюються позаду напівпричепу. Вони виготовляються, наприклад, такими виробниками, як «TrailerTail», «Aerovolution», «STEMCO Aerodynamics», Mercedes-Benz Aerodynamics Trucks «Aero trailer». Розроблено напівпричепи обтічної форми «Teardrop» фірми «Don-Bur» та «Krone AeroLiner» фірми «MAN Truck & Bus» [1, 3]. Однак одні з цих рішень (спойлери) володіють низькою ефективністю, а інші (напівпричепи обтічної форми) – недостатньою ефективністю та недоліками в практичному використанні.

Для розробки більш ефективних технічних рішень зі зменшення аеродинамічного опору автопотягу необхідно ґрунтовно дослідити явища, які супроводжують процес обтікання повітрям напівпричепу.

Аналіз останніх джерел

В роботах [2, 4] наведені узагальнені числові дані впливу окремих чинників на загальний аеродинамічний опір автопотягу. Авторами [5–9] представлено результати моделювання аеродинаміки автопотягу. Автори [10] дослідили вплив використання заднього спойлеру та обтікання повітрям напівпричепу. Виробником [1] наводяться дані з обтікання повітрям напівпричепів стандартної та обтічної форми.

Однак в усіх цих роботах представлені результати мають локальний характер. Відсутні дані, які б дали змогу оцінити швидкість потоку в усіх зонах задньої частини напівпричепу, тиск повітря та інтенсивність турбулентності в цих зонах при різних швидкостях руху повітря. Актуальним є вирішення даної задачі.

Метою статті є чисельне моделювання процесу обтікання потоком повітря магістрального

автопотягу та визначення особливостей розподілення швидкості, тиску та зон турбулентності повітря навколо нього для створення передумов оцінки ефективності відомих та запропонованих технічних рішень зі зниження його аеродинамічного опору.

Виклад основного матеріалу

Моделювання проводилось із використанням програмного комплексу FlowVision. Він призначений для розрахунку гідро- та газодинамічних задач (разом зі зв'язаними процесами тепло- і масопереносу) в широкому діапазоні чисел Рейнольдса в довільних тривимірних областях.

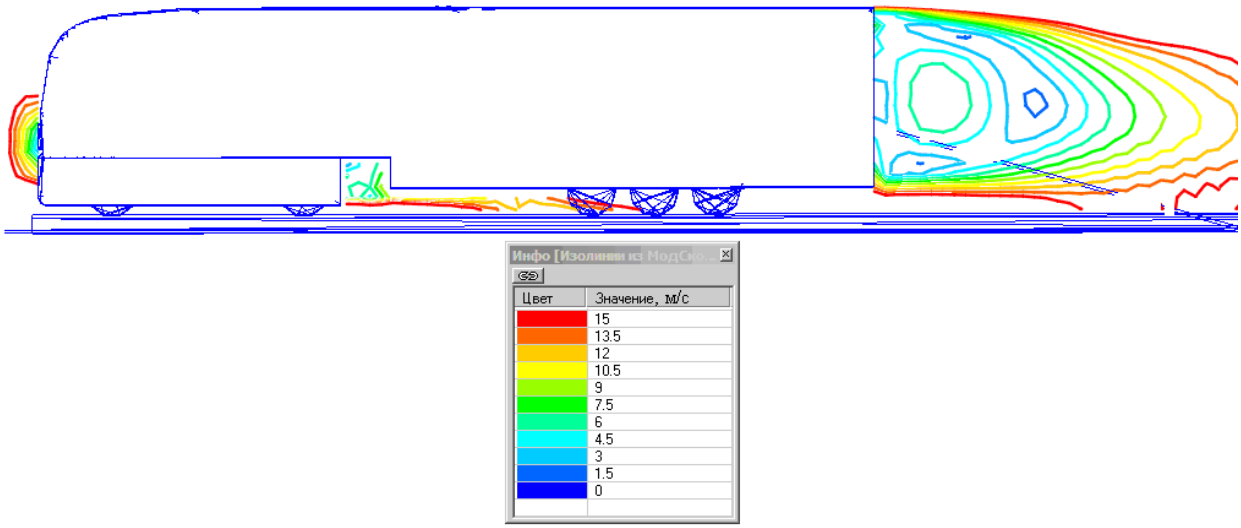
Базовими в програмі є рівняння Нав'є-Стокса, рівняння нерозривності потоку, рівняння турбулентної в'язкості. Крім того, в модель входять рівняння для турбулентної енергії і швидкості дисипації турбулентної енергії. В даній роботі в ході моделювання була використана k-ε модель турбулентної течії в'язкої рідини з невеликими змінами густини при великих змінах числа Рейнольдса. Чисельне інтегрування рівнянь за просторовими координатами проводилось з використанням прямокутної адаптивної локально подрібненої сітки. Такий підхід забезпечує можливість при вирішенні завдань провести адаптацію сітки до особливостей геометрії поблизу кордонів.

У розрахунку були використані наступні параметри: густина повітря 1,2 кг/м^3; температура t=20 ºС; швидкість набігаючого повітря 25 м/с та 19,4 м/с (даний режим відповідає руху автопотягу зі швидкістю 90 км/год та 70 км/год відповідно). В ході досліджень використана 3D-модель автопотягу марки «IVECO New Stralis XP», який має довжину 17 м. При визначенні граничної умови стінки була задана шорсткість поверхні, яка характерна для матеріалу, з якого виготовляються автопотяги.

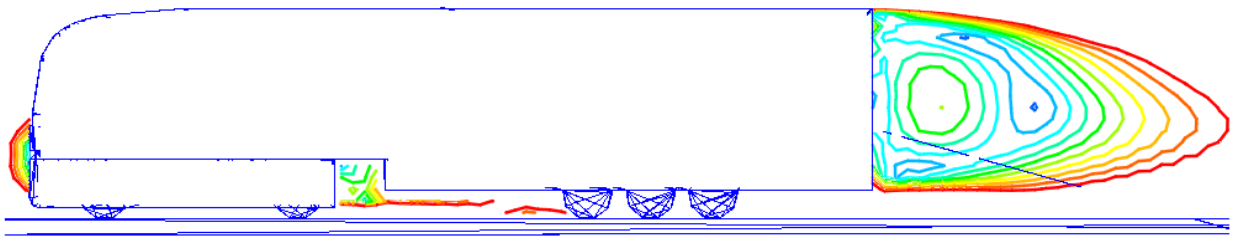
У задачі були використані кілька способів візуалізації отриманих результатів. Візуалізація скалярного поля дисипації кінетичної енергії, яка пропорційна градієнту швидкості деформації повітря, дозволила визначити місця виникнення завихрень в потоці. Поле дисипації візуалізовано шляхом використання градієнтних ізоліній. Візуалізація векторного поля швидкості дозволила визначити місця зміни величини швидкості і зміни напряму руху продукту.

Результати моделювання представлені на рис. 1–8. Як видно з даних рисунків, при обтіканні автопотягу утворюється низка характерних зон навколо нього, наявність яких обумовлює суттєве збільшення енерговитрат при швидкісному русі автопотягу. З урахуванням наведеного вище, особливий інтерес представляють зона розрідження позаду напівпричепа та зона спереду кабіни тягача.

Як видно з рисунку 1, позаду напівпричепа спостерігається протяжна зона (довжиною близько 3,5-4 м), швидкість повітря в якій суттєво менша за швидкість набігаючого потоку. Так при швидкості повітря навколо напівпричепу 25 м/с в даній зоні швидкість повітря зменшується переважно в діапазоні від 15 м/с до 5 м/с. При цьому наявні окремі локальні зони зі швидкістю повітря 0-1,5 м/с. У випадку швидкості повітря навколо напівпричепу 19,4 м/с характер зони зберігається, лише зменшується її протяжність.



а)

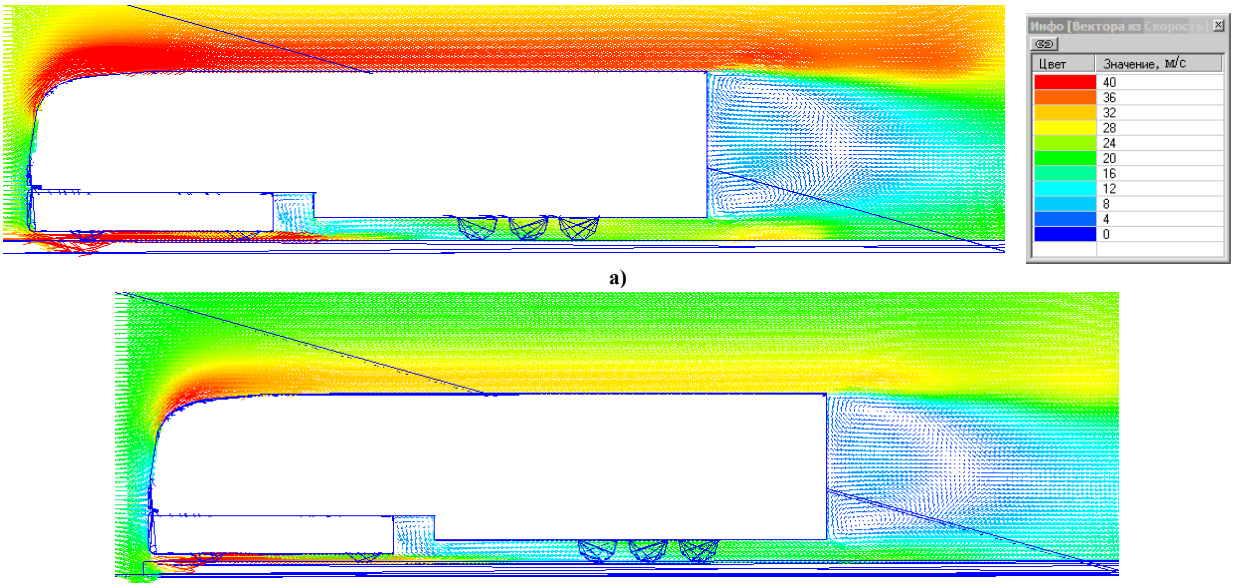


б)

Рис. 1. Розподілення швидкості повітряного потоку при обтіканні автопотягу, м/с (у вигляді ізоліній): а) для швидкості 25 м/с; б) для швидкості 19,4 м/с

Пояснити таке зниження швидкості потоку повітря можуть дані, наведені на рис. 2 та рис. 3. В даній зоні потік повітря відривається від поверхні напівпричепу та змінює напрямок свого руху на протилежний. При цьому швидкість набігаючого потоку різко знижується та утворюються вихри. Довжина ЗРН позаду напівпричепа сягає понад 3 м при довжині автопотягу 17 м. У випадку руху автопотягу зі швидкістю 19,4 м/с довжина ЗРН дещо зменшується, але незначно. Як видно з рисунку 3, позаду напівпричепа вектори повітряного потоку розташовуються майже симетрично, утворюючи вихри у верхній та нижній частині ЗРН, наближених до поверхонь напівпричепу. Схожа картина спостерігається і в горизонтальних площинах (рисунок 4, 5). Відмінністю є деяке звуження ЗРН в горизонтальній площині, що обумовлено відмінністю габаритів напівпричепу у вертикальному та горизонтальному напрямках. При обтіканні ж лобової частини кабіни тягача (рисунок 2) навпаки спостерігається істотне збільшення швидкості потоку повітря у верхній частині кабіни та над автопотягом у при поверхневому шарі (до 40 м/с при швидкості руху автопотягу 25 м/с та до 32 м/с при швидкості руху автопотягу 19,4 м/с).

Вказана різниця у швидкостях потоку повітря призводить до виникнення різних тисків, що діють на автопотяг у названих зонах (рисунок 6). Так на лобову частину автопотягу діє надлишковий тиск до 100 Па, тоді як у ЗРН тиск складає близько (-100) Па. Різниця цих тисків обумовлює утворення рівнодіючої сили, яка штовхає автопотяг у зворотній бік до його руху, викликаючи цим підвищення витрат пального.



а)

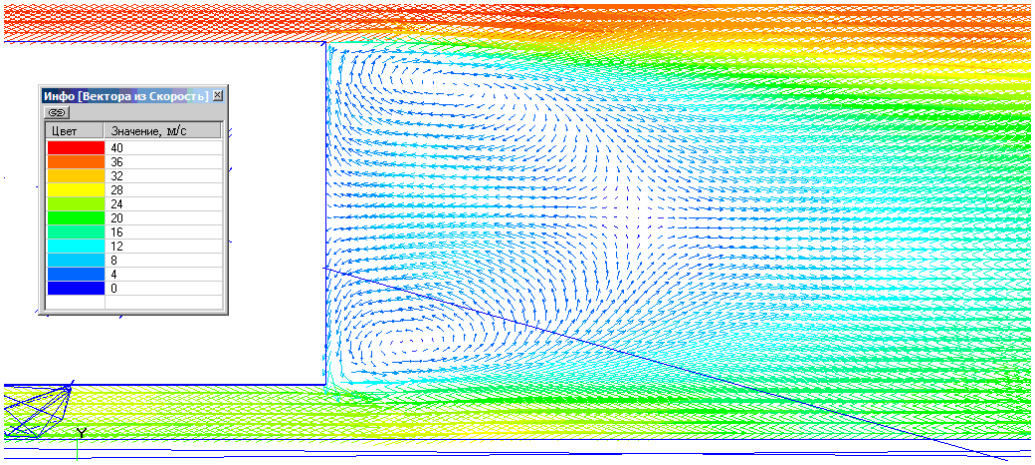
б)

Рис. 2. Розподілення швидкості повітряного потоку при обтіканні автопотягу, м/с (у вигляді векторів): а) для швидкості 25 м/с; б) для швидкості 19,4 м/с

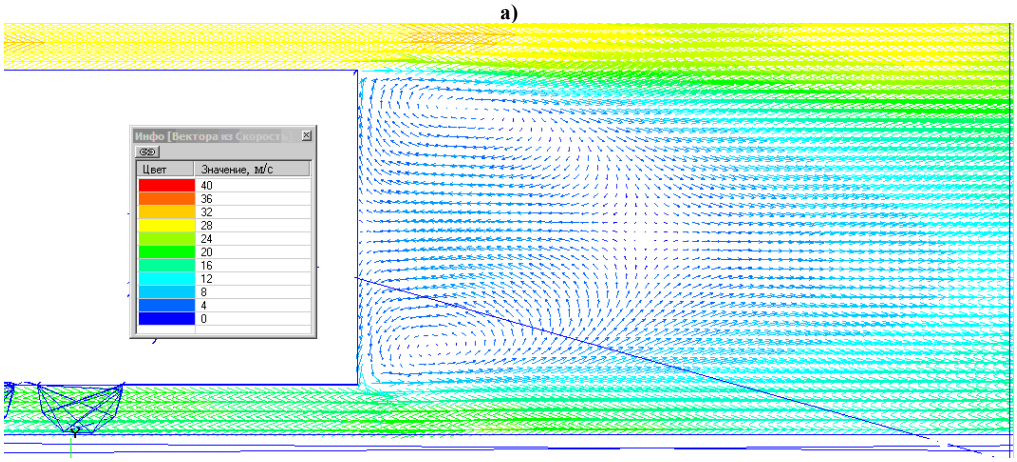
Поряд із цим в зоні лобової частини автопотягу наявні ділянки з пониженим тиском (від -80 до -100 Па). Це свідчить про те, що геометрія кабіни та верхнього спойлеру тягача недостатньо оптимізована з точки зору аеродинаміки. Даний висновок відноситься безпосередньо до даної моделі тягача, але, зважаючи на конструктивні особливості більшості моделей тягачів, його можна віднести і до автомобілів інших виробників.

В ділянках з пониженим тиском потік повітря, який набігає, відривається від поверхні автопотягу, утворює вихри. На утворення вихрів витрачається надлишкова енергія, що також слугує фактором збільшення витрат пального тягачем автопотяга. Інтенсивність утворення вихрів можна оцінити за турбулентною дисипацією (рисунок 7). Як видно з рисунку, при швидкості автопотягу 25 м/с найбільші значення турбулентної дисипації (до 200 одиниць) спостерігаються у верхній передній частині кабіни тягача та у верхній і нижній частинах заднього торцю напівпричепа. При швидкості руху 19,4 м/с максимальні значення турбулентної дисипації зберігаються, але зони турбулентності повітря істотно зменшуються.

Дані рисунку 7 дозволяють оцінити розмір зон турбулентності, який вказує на великі витрати енергії, що необхідні для їх утворення. Зважаючи на зазначене, доцільним є розробка заходів зі зменшення або усунення зон турбулентності як в лобовій, так і в задній частині автопотягу. На рисунку 8 представлено ізоповерхні, які окреслюють потік повітря зі швидкостями 25 м/с. Аналізуючи наведені дані можна дійти висновку, що протяжність зони пониженого тиску позаду автопотягу достатньо велика. Ймовірним є те, що застосування задніх спойлерів для повного або суттєвого усунення вказаних негативних чинників неможливе через надто великі габарити спойлерів. Це вказує на необхідність подальшого дослідження аеродинаміки сідельних автопотягів та розробки більш ефективних технічних рішень зі зниження їх аеродинамічного опору.



а)



б)

Рис. 3. Розподілення швидкості повітряного потоку у вертикальному серединному повздовжньому перетині позаду напівпричепа, м/с (у вигляді векторів):
а) для швидкості 25 м/с; б) для швидкості 19,4 м/с

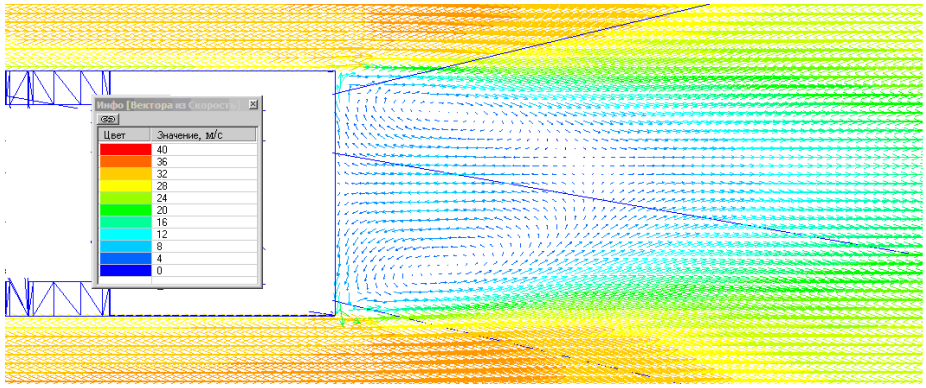


Рис. 4. Розподілення швидкості (м/с) повітряного потоку в горизонтальному серединному повздовжньому перетині позаду напівпричепа (у вигляді векторів) для швидкості 25 м/с

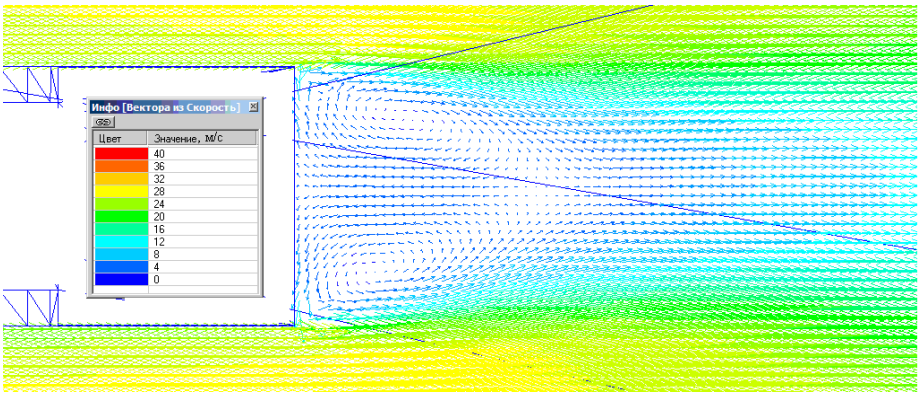
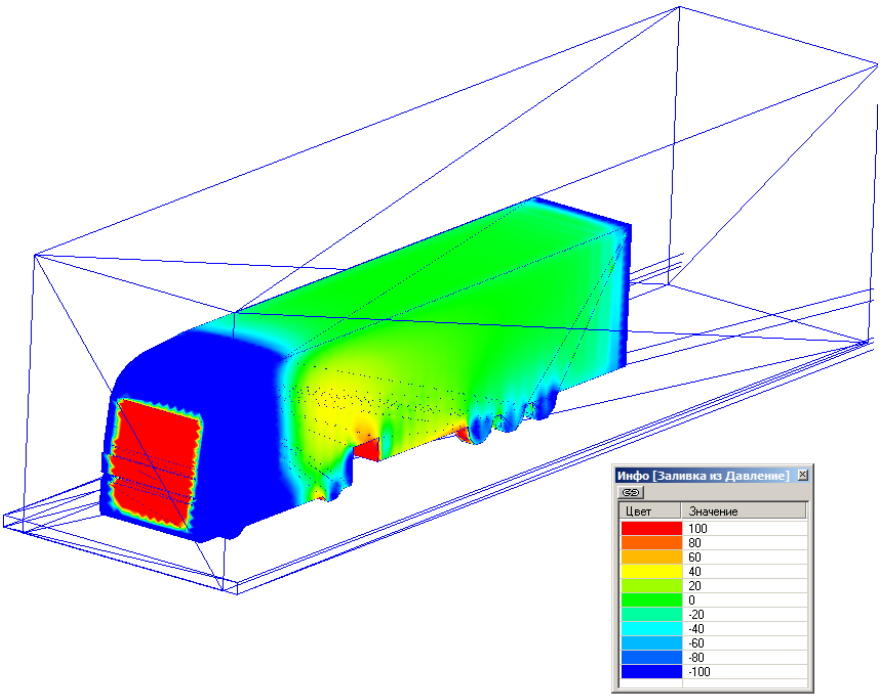
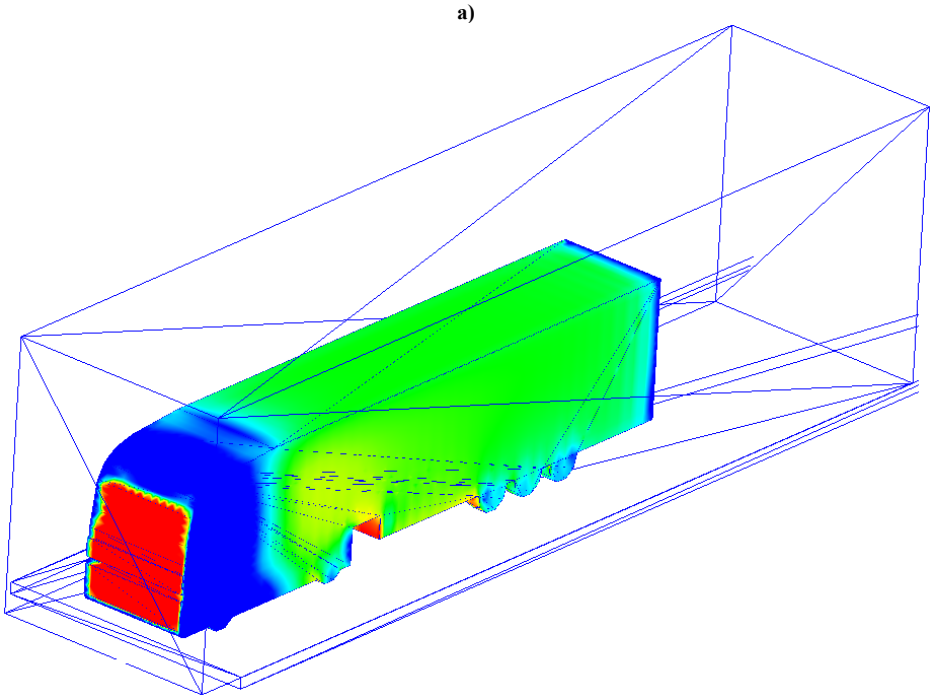


Рис. 5. Розподілення швидкості (м/с) повітряного потоку в горизонтальному серединному повздовжньому перетині позаду напівпричепа (у вигляді векторів) для швидкості 19,4 м/с



а)



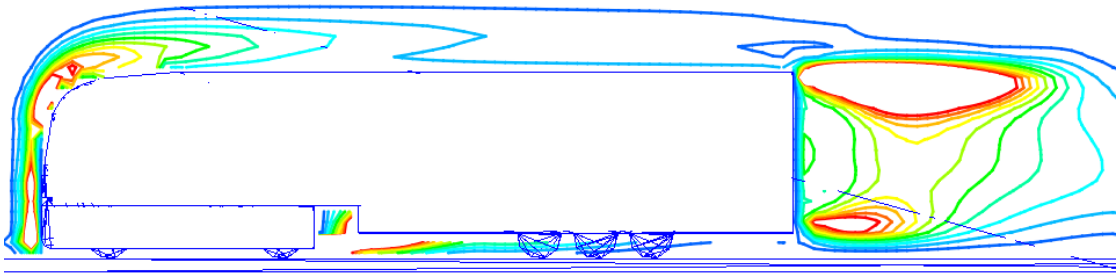
б)

Рис. 6. Тиск повітря на поверхню автопотягу при його обтіканні, Па: а) зі швидкістю 25 м/с; б) зі швидкістю 19,4 м/с

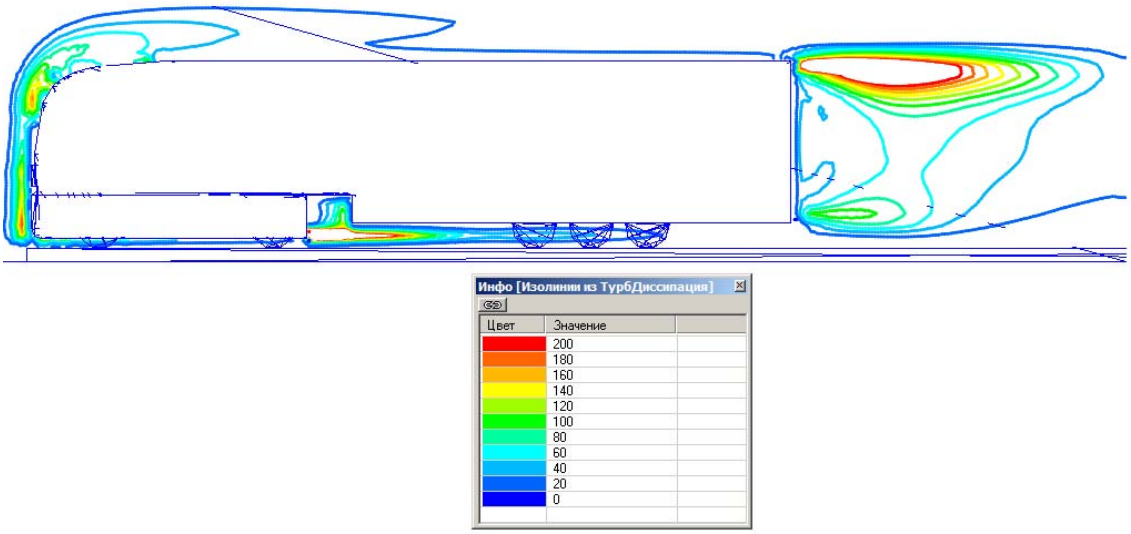
Висновки

Чисельне моделювання аеродинаміки сідельного автопотягу дозволило встановити розподілення швидкості, тиску та зон турбулентності повітря навколо нього. При обтіканні автопотягу утворюється низка характерних зон, наявність яких обумовлює суттєве збільшення енерговитрат при швидкісному русі автопотягу. Найбільша зміна швидкості повітря та тиску на поверхню автопотягу спостерігаються в його лобовій частині (тиск збільшується на величину до 100 Па) та позаду напівпричепа (тиск зменшується на величину до 100 Па). В даних зонах відбувається інтенсивне утворення завихрень, що служить додатковим чинником збільшення витрат енергії на рух автопотягу.

Отримані дані можуть бути використані при порівняльній оцінці ефективності відомих та запропонованих технічних рішень зі зниження аеродинамічного опору автопотягів. Напрямками подальших досліджень можуть бути визначення ефективності застосування задніх спойлерів для напівпричепів, а також розробка таких технічних рішень зі зниження аеродинамічного опору автопотягів, які були б більш ефективними у порівнянні з уже відомими рішеннями.



а)



б)

Рис. 7. Розподілення турбулентної дисипації навколо автопотягу, одиниць (у вигляді ізоліній): а) для швидкості 25 м/с; б) для швидкості 19,4 м/с

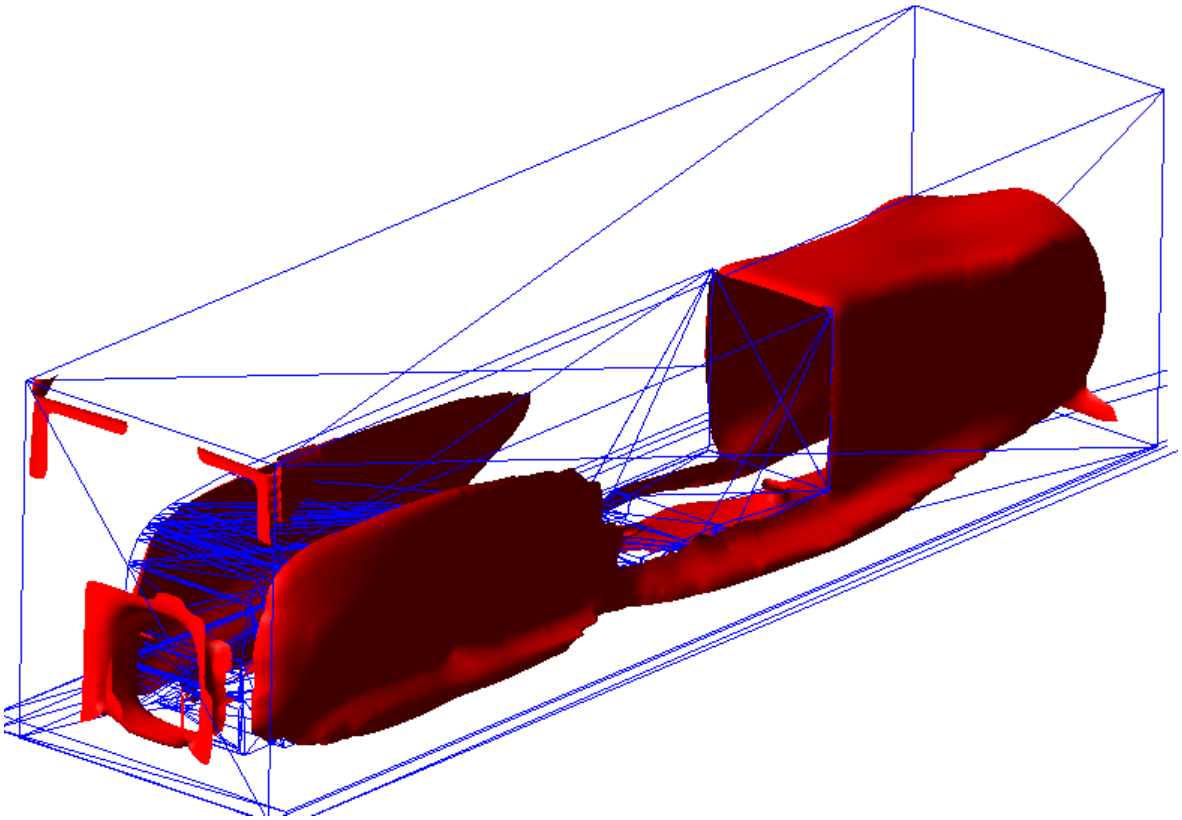


Рис. 8. Розподілення швидкості повітряного потоку при обтіканні автопотягу зі швидкістю 25 м/с (у вигляді ізоповерхні)

Література

1. Промисловий каталог фірми Don-Bur (Bodies & Trailers) Ltd. [Електронний ресурс]. –

Великобританія, 2016. – Режим доступу : www.donbur.co.uk.

2. Евграфов А.Н. Аэродинамика автомобиля / А. Н. Евграфов. – М. : МГИУ, 2010. – 356 с.

3. Промисловий каталог фірми MAN Truck & Bus AG [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2016. – Режим доступу : www.mantruckandbus.com.

4. Карабцев В. С. Аэродинамика плообтекаемых тел и возможности ее применения при проектировании грузовых автомобилей. Аналитический обзор / В. С. Карабцев, Д. Х. Валеев. – М. : Механика машин, механизмов и материалов. – 2011. – № 4. – С. 97–102.

5. Киселева Н. Н. Современные информационные технологии для выполнения экспериментов автомоделирования аэродинамики автомобиля / Н. Н. Киселева, А. А. Платонов. – М. : Fundamental research. – 2015. – № 3. – С. 90–94.

6. Валеев Д. Х. Эволюция аэродинамических характеристик автомобилей «КАМАЗ» / Д. Х. Валеев, В.С. Карабцев // Известия МГТУ «МАМИ». – 2014. – № 1. т. 1. – С. 13–19.

7. Pevitt C. A Computational Simulation of Aerodynamic Drag Reductions for Heavy Commercial Vehicles / C. Pevitt, H. Chowdury, H. Moriaand, F. Alam // 18th Australasian Fluid Mechanics Conference. – Launceston, Australia. – 3-7 December 2012. – p. 54–84.

8. Rose McCallen. DOE'sEffort to Reduce Truck Aerodynamic Drag through Joint Experiments and Computations / Rose McCallen et al. [Електронний ресурс]. – США, 2006. – Режим доступу : www1.eere.energy.gov.

9. Belzile Marc. Review of Aerodynamic Drag Reduction Devices for Heavy Trucks and Buses. Technical Report / Marc Belzile [Електронний ресурс]. – Канада, 2012. – Режим доступу : www.tc.gc.ca.

10. Андрейчик А. Ф. Влияние заднего спойлера полуприцепа на общее аэродинамическое сопротивление седельного автопоезда / А. Ф. Андрейчик и др. // Механика машин, механизмов и материалов. – 2014. – № 2. – С. 30–33.

Рецензія/Peer review : 20.1.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: к.т.н. Рубан Д.П.

УДК 629.113

В. В. СЛАВІН
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ВПОРСКУВАННЯ БЕНЗИНУ НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ ДВИГУНА В РЕЖИМІ МІНІМАЛЬНОЇ ЧАСТОТИ ХОЛОСТОГО ХОДУ

Показники роботи двигуна обладнаного системою впорскування бензину зі зворотнім зв'язком та системою нейтралізації відпрацьованих газів також залежать від технічного стану слідкуючих елементів системи впорскування, які регулюють склад паливоповітряної суміші. У роботі визначено вплив технічного стану елементів підсистем керування наповненням циліндрів та утворення паливоповітряної суміші системи впорскування бензину на паливну економічність двигуна в режимі мінімальної частоти холостого ходу.

Ключові слова: бензиновий двигун, система впорскування бензину, система нейтралізації відпрацьованих газів, зворотній зв'язок.

SLAVIN VIKTOR
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

INFLUENCE TECHNICAL CONDITION THE ELEMENTS OF SYSTEM PETROL INJECTION ON THE FUEL EFFICIENCY OF THE ENGINE IN A MODE OF THE MINIMAL FREQUENCY IDLE RUN

The resource efficiency of the catalytic converter and a λ-sensor is 100 thousand km. Therefore, very often in operation, a period when the efficiency decreases neutralization system to a level at which there is no need for a feedback system. Because of this, in operation shut down feedback λ-sensor. To assess the impact of such changes on the performance of the engine determined fuel consumption at idle when $n_д$=920 min-1. When the engine is switched from the feedback fuel consumption of 0,738 liters /hour, whereas without the control signals λ-sensor it was 0,672 liters /hour, it decreased by 9,82%. To improve fuel efficiency of the engine is turned off feedback, implemented lean mixture to the limit α=1,1. As a result, measurements found that the lowest level of idling fuel consumption increased by 15,6% (0,797 liters /hour). Running the engine with distributed system of petrol injection at α=1,1 not ensure its effective operation in terms of fuel efficiency. The efficiency of the exhaust gas system of the engine with system of petrol injection also depends on the technical condition of the injection elements that make up the management subsystem filling of cylinders and fuel mixture formation. Determined that the fuel consumption in the absence of a signal from the coolant temperature of 0,849 liters/ hour, which is more than 1,26 times higher than the engine operation with a serviceable sensor (0,672 liters/hour). Studies have shown that the throttle position sensor failure does not affect the fuel-economic parameters of the engine (0.67 liters/ hour) in the initial position (zero point).

Keywords: petrol engine, the system of petrol injection, waste gases neutralization system, feedback coupling.

Вступ. Основне місце серед рухомого складу автомобільного транспорту в Україні належить легковим автомобілям. Транспортні засоби категорії М1 згідно останніх статистичних досліджень складають 6900,5 тис. од., що становить 71% від усієї кількості [1]. Попри переважну більшість їх серед інших учасників дорожнього руху легкові автомобілі відрізняються між собою силовим агрегатом, що споживає певний вид палива. Насамперед такими двигунами є карбюраторні, які мають механічну систему керування паливоподачею, що не забезпечують діючих екологічних норм і через це замінюються на системи впорскування бензину. При цьому на автодорогах чимало легкових дизелів (20–22%) та автомобілів з бензиновими двигунами з встановленим газобалонним обладнанням (75 тис. од. станом на 01.01.2013). Актуальність останніх силових агрегатів обумовлена тим, що дизелі мають кращу паливну економічність, зокрема в режимах малих навантажень в порівнянні з бензиновими двигунами, а використання газових палив в якості моторних характеризується багатьма перевагами, серед яких основною є їх низька вартість (42% від вартості бензину марки А-95+).

Парк легкових автомобілів з карбюраторними двигунами згідно даних у роботі [2] мають таку орієнтовну структуру за екологічними властивостями:

- відповідних Євро-0 – 4470-4870 тис. од. (66-72 %);
- відповідних Євро-1 – 60-130 тис. од. (1-2 %).

Як видно з цих даних, значна кількість автомобілів екологічного рівня «Євро-0» експлуатується з карбюраторними системами живлення тоді як екологічні норми «Євро-1» підтримують автомобілі з окислювальними нейтралізаторами відпрацьованих газів (ВГ).

Введення в Україні екологічних норм рівня «Євро-2» у 2006 р. посприяло пошуку ефективних заходів, спрямованих на їх підтримку легковими автомобілями з карбюраторними двигунами.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. У роботах [3–5] експериментальним шляхом визначено, що заміна карбюраторної системи на систему впорскування бензину забезпечує зниження токсичності ВГ, покращує паливо-економічні показники та динамічні якості автомобіля.

Для заміни карбюратора в умовах експлуатації в роботі [3] використовували систему впорскування бензину типу «LE–Jetronic». Застосування цієї системи впорскування дозволило при стабільній роботі двигуна, що підтверджується однаковими, а для малих навантажень нижчими концентраціями вуглеводнів у ВГ, значно збіднити паливоповітряну суміш (α зросло з 1,0 до 1,2). Таке збіднення суміші призвело до зниження питомої витрати палива, в середньому по навантажувальній характеристиці на 8,7%. При повному навантаженні потужність двигуна з системою впорскування зросла на 7,2%.

Проте для забезпечення діючих екологічних норм необхідно використовувати систему впорскування із зворотнім зв’язком по λ-датчику, який за складом ВГ регулює паливоподачу для ефективної роботи трикомпонентного каталітичного нейтралізатора.

У роботі [5] проведені дослідження, метою яких було покращення показників роботи легкових автомобілів з карбюраторними двигунами використанням сучасної системи впорскування бензину типу «LH-Motronic» із системою нейтралізації ВГ та зворотнім зв’язком по λ-датчику. Стендові випробування двигуна продемонстрували позитивний ефект від заміни карбюратора на систему впорскування бензину, через зниження питомої витрати палива на 5% при $n_д$=2000 хв$^{-1}$, а при повному навантаженні потужність двигуна з системою впорскування зросла на 6,6%. Виконання Європейського міського їздового циклу автомобілем з новою системою живлення із впорскування бензину та системою нейтралізації ВГ на роликовому моделюючому стенді фірми *AVL* засвідчили переваги таких заходів так як отримано зниження витрати палива на 6,44% та підтримку екологічних норм рівня «Євро-2».

Проте, дотримання таких показників двигунами з системою впорскування бензину та нейтралізації ВГ протягом експлуатації можливо при дотриманні правил технічної експлуатації. Основними елементами системи нейтралізації ВГ є каталітичний нейтралізатор та λ-датчик, останній забезпечує роботу двигуна при стехіометрії для ефективного очищення ВГ.

Виділення невирішених частин. Відомо, що ресурс ефективної роботи каталітичного нейтралізатора та λ-датчика складає близько 100 тис. км пробігу автомобіля [5]. Звичайно несправні елементи системи нейтралізації ВГ необхідно замінювати на нові для досягнення показників роботи автомобіля на рівні встановлених заводом-виробником. Досить часто в умовах експлуатації настає період, коли ефективність системи нейтралізації знижується до рівня, при якому зникає необхідність у системі зворотного зв’язку. Тому, у блоках керування системою впорскування бензину вимикають зворотній зв'язок по λ-датчику, який потім від’єднують від роз’єму та демонтують з системи випуску ВГ.

Мета і постановка задачі. Визначення впливу технічного стану елементів підсистем керування наповненням циліндрів і утворення паливоповітряної суміші на витрату бензину в режимі холостого ходу.

Матеріали і результати досліджень. Склад паливоповітряної суміші під час роботи двигуна без зворотного зв’язку регулюється за значеннями в програмі керування двигуном в залежності від частоти обертання колінчастого вала двигуна і навантаження (рис. 1). З рис. 1 видно, що склад паливоповітряної суміші змінюється в залежності від навантаження та частоти обертання колінчастого вала двигуна. У режимі мінімального холостого ходу двигуна та його прогріву до робочої температури – 85˚С, необхідна теоретична кількість повітря для повного згоряння 1 кг палива складає l_0=14,76 кг повітря.

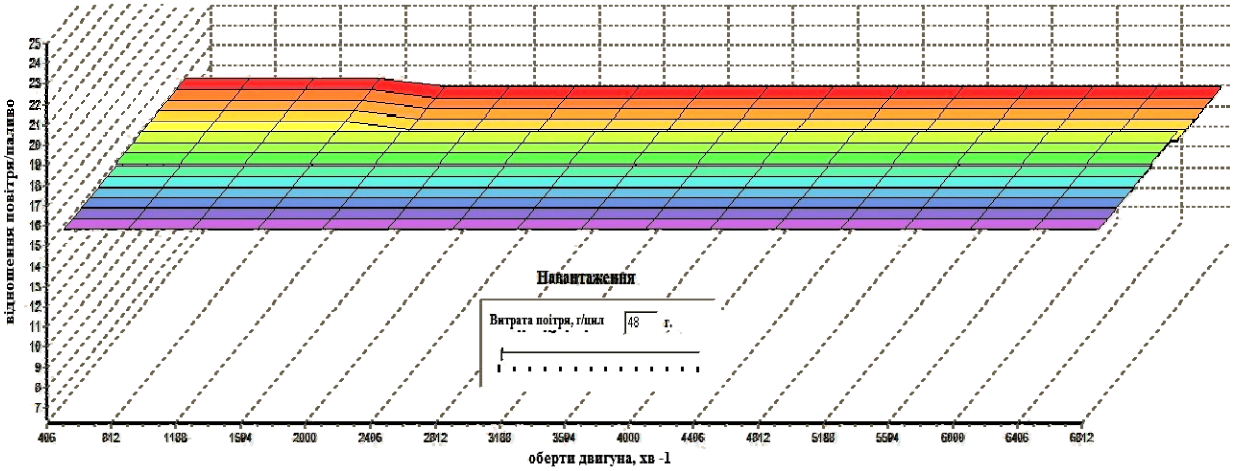


Рис. 1. Склад паливоповітряної суміші при розімкнутому зв'язку λ-датчика

Вплив відключення зворотного зв’язку на витрату палива визначався в режимі мінімального холостого ходу при $n_д$=920 хв$^{-1}$. У результаті замірів витрати палива визначено, що при роботі двигуна з увімкненим зворотнім зв’язком витрата палива складає 0,738 л/год. тоді як при роботі без врахування регулювальних сигналів λ-датчика вона становила 0,672 л/год., тобто зменшилася на 9,82 %. Як видно, робота двигуна зі зворотнім зв’язком характеризується постійним корегуванням складу суміші через вплив на відкритий стан клапана бензинових електромагнітних форсунок так, щоб відхилення складу суміші не становило більш ніж 1% від стехіометричного, а при роботі двигуна без зворотного зв’язку він працює на дещо збідненій паливоповітряній суміші. Враховуючи можливості блока керування системою впорскування бензину виконано його програмування на роботу двигуна при збідненій суміші з коефіцієнтом надміру повітря α =1,1 (рис. 2).

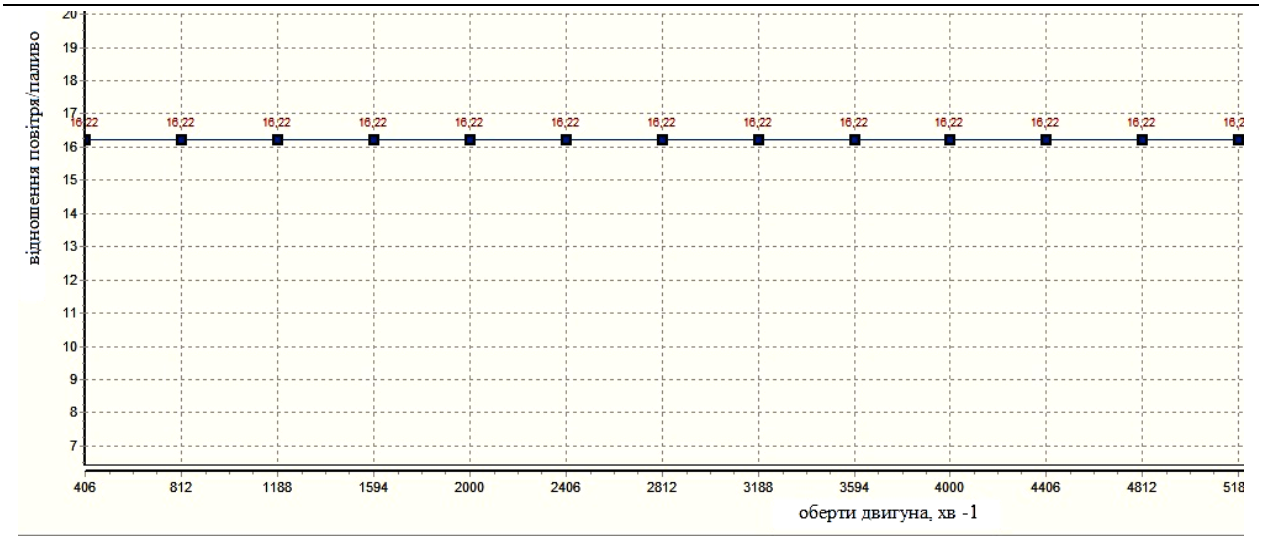


Рис. 2. Програмування на роботу двигуна за збідненого складу суміші (α =1,10)

У результаті замірів визначено, що в режимі мінімального холостого ходу витрата бензину зростає на 15,6% (0,797 л/год.). Робота двигуна з розподіленою системою впорскування бензину при α=1,1 не забезпечить його ефективної роботи з точки зору паливної економічності, а також покращення його пускових та динамічних властивостей.

Ефективність роботи системи нейтралізації ВГ двигуна з системою впорскування бензину залежить також від технічного стану елементів системи впорскування, які складають підсистеми керування наповненням циліндрів та утворенням паливоповітряної суміші. Сюди належать слідкуючі елементи системи корекції складу суміші: λ-датчик та датчик температури охолодної рідини (ДТОР); датчик положення дросельної заслінки (ДПДЗ) систем подачі бензину та визначення навантаження двигуна. У кожного слідкуючого елемента системи впорскування бензину є якісний показник роботи. При несправності λ-датчика з'являється нестійка робота в режимі ХХ, зростає витрата палива та погіршуються динамічні властивості автомобіля. При цьому, невідповідна робота λ-датчика може спричинити перегрів каталітичного нейтралізатора, що призведе до руйнування його робочої порожнини та повної недієздатності.

Показником роботи ДТОР є зміна опору (Ом) залежно від температури охолодної рідини. Порушення роботи ДТОР спричиняє сильне збіднення або збагачення робочої суміші, а при відсутності сигналу від ДТОР ускладнюється пуск двигуна через відсутність інформації про пусковий склад суміші. Як приклад, на рис. 3 показано вплив визначеної ДТОР на корекцію складу суміші.

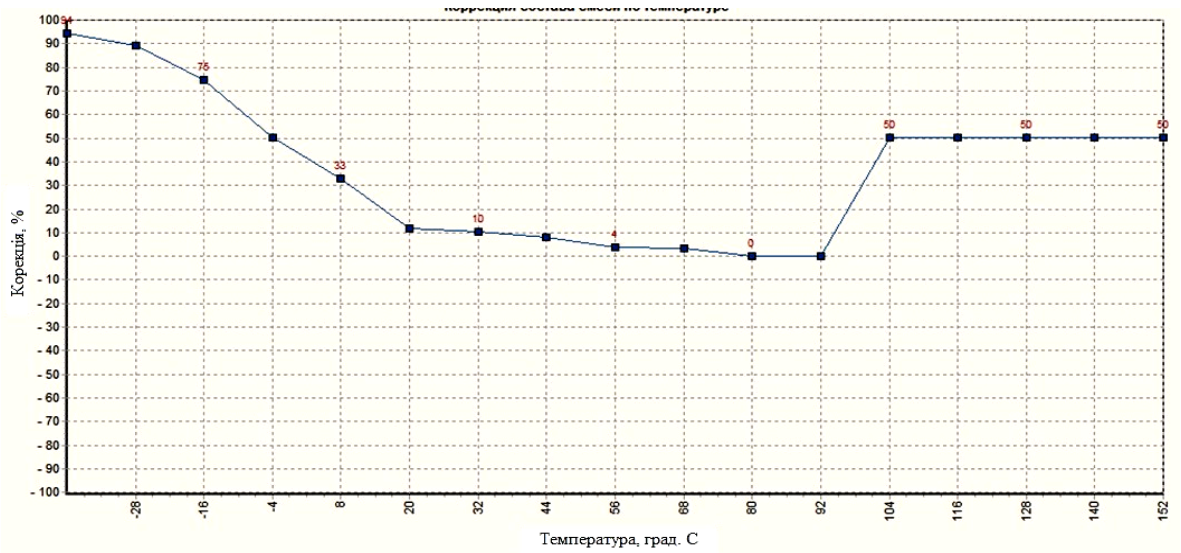


Рис. 3. Корекція складу суміші по температурі

Температура охолодної рідини визначає склад суміші для ефективного пуску двигуна. Експериментально визначено, що витрата палива в режимі ХХ при відсутності сигналу від ДТОР складає 0,849 л/год., що більше в 1,26 разу ніж за роботи двигуна зі справним датчиком (0,672 л/год.).

Одним із датчиків системи впорскування бензину, який забезпечує динамічні якості автомобіля є датчик положення дросельної заслінки (ДПДЗ). Він забезпечує корекцію паливоподачі залежно від положення дросельної заслінки, настання режиму збагачення складу суміші (відключення зворотного зв'язку), очікувану витрату повітря (г/с) та вмикає режим примусового холостого ходу. Як приклад, на рис.

4 видно вплив положення дроселя (%) на увімкнення режиму збагачення паливоповітряної суміші.

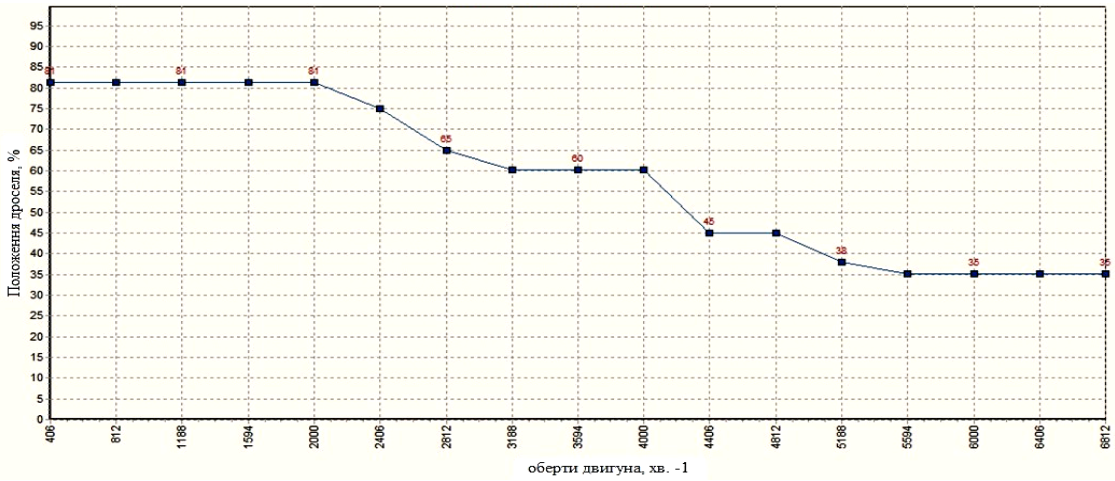


Рис. 4. Режим збагачення від положення дроселя

Спочатку проводилися заміри витрати палива в режимі мінімального холостого ходу технічно справного ДПДЗ та з відсутнім сигналом. Дослідження показали, що відсутній сигнал ДПДЗ не погіршує паливо-економічні показники двигуна (0,67 л/год.) в початковому положенні (нульова відмітка). Погіршення показників роботи двигуна з несправним ДПДЗ відбуватиметься в навантажувальних режимах при корекції складу суміші, коли дросель відкритий на деяку величину, щоб забезпечити очікуване наповнення або повне відключення паливоподачі в режимі примусового холостого ходу.

Висновки. Таким чином, дослідження паливної економічності бензинового двигуна легкового автомобіля з електронною розподіленою системою впорскування бензину і зворотнім зв'язком в режимі мінімального холостого ходу показали, що:

- відключення зворотного зв'язку зменшує витрату палива на 9,82 %;
- витрата палива при відсутності сигналу від ДТОР зростає в 1,26 рази;
- відсутній сигнал ДПДЗ не погіршує паливо-економічні показники двигуна в нульовому положенні.

Проведені дослідження продемонстрували вплив відключення в умовах експлуатації зворотного зв'язку на витрату бензину. Визначено вплив технічного стану елементів системи впорскування на витрату бензину, які складають підсистеми керування наповненням циліндрів та утворенням паливоповітряної суміші, що безпосередньо впливають на ефективність системи нейтралізації ВГ.

Література

1. Україна у цифрах у 2014 році: [під ред. О. Г. Осауленка]. – Київ: Державна служба статистики України, 2015. – 240 с.

2. Уведення екологічних норм Євро-3 – Євро-6 в Україні, аналіз структури парку автомобілів за екологічними ознаками /А. М. Редзюк., В. С. Устименко.,О. А. Клименко [та ін.]//Автошляховик України.– 2011.–№ 4–С. 2 – 7.

3. Гунько А. В. Шляхи зниження шкідливих викидів легковими автомобілями в умовах експлуатації / А. В. Гунько, В. В. Славін, І. В. Манько // Вісник НТУ. – 2011. – № 22. – С. 118–126.

4. Славін В.В. Вплив типу системи живлення бензинового двигуна на тягово-швидкісні властивості легкового автомобіля. / В. В. Славін // Вісник Хмельницького національного університету: технічні науки. – 2015. – № 4 (227). – 25-30 с.

5. Гутаревич Ю.Ф. Поліпшення показників легкових автомобілів з карбюраторними двигунами в умовах експлуатації / Ю. Ф. Гутаревич, В. В. Славін // «Вісник СевНТУ». – 2013. – № 142. – С. 36 – 40.

Рецензія/Peer review : 14.02.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Шайко-Шайковський О.Г.

УДК 648.23.067.1

С.В. СМУТКО, С.П. ЛІСЕВИЧ, Д.О. ГАЛЮК
Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДОЗУВАННЯ РІДКИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПРАННЯ В ПРАЛЬНИХ МАШИНАХ

В роботі запропоновано результати розробки та дослідження конструкції автоматичної системи дозування засобів для прання в пральних машинах, яка складається з пристрою дозування та пристрою для зважування завантаженої білизни. Конструкція пристрою дозування включає перистальтичний насос, що приводиться в рух кроковим двигуном. Для визначення ваги сухої білизни, що завантажується в барабан, запропоновано схему пристрою, що складається з вузла вимірювання деформації пружного елементу та системи обробки інформації. Запропонована система дозування дозволяє зменшити витрати засобів для прання та уникнути додаткових енерговитрат, позитивно впливає на екологічний стан оточуючого середовища.

Ключеві слова: дозування, засоби для прання, перистальтичний насос, пружний елемент.

S.V. SMUTKO, S.P. LISEVYCH, D.O. GALUCK
Khmelnytsky National University

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC SYSTEM FOR DOSING OF LIQUID DETERGENTS IN WASHING MACHINES

The article presents the results of development and researches of construction automatic dosing system of detergents in washing machines, which consists of a dosing device and device weighing loaded laundry. The construction of dosing device includes a peristaltic pump driven by stepper motor. To determine the weight of dry laundry loaded in the drum, The scheme of the device, consisting of a unit measuring deformation of elastic element and systems of information processing. Proposed the method of calculating the dosing amount of liquid detergent per unit weight of loaded linen. For determining the average volume of washing agent per unit weight are analyzed the market of modern detergents. We gave methodology of calculation of the amount of deformation of the elastic element of the device for weighing loaded laundry. Offered dosing system allows to reduce costs for washing and to avoid additional energy costs, has a positive effect on the ecological state of the environment.

Key words: dosing, detergent, peristaltic pump, elastic element.

Вступ

Сучасні автоматичні пральні машини – це досить складні електронні прилади. Автоматичні пральні машини управляються програмно і здійснюють процес прання по заданому алгоритму, тобто автоматично виконують наступні операції: заповнюють пральний бак водою і її підігрівають її до заданої температури; здійснюють і регулюють режими процесів прання, полоскання, віджимання, подачі та зливу розчинів для прання.

Недоліком автоматичних пральних машин є недосконала система дозування засобів для прання, яка складається з декількох відділень, призначених для різних типів миючих засобів. Це означає, що завантаження прального засобу відбувається за участі людини, якій потрібно відміряти необхідну його кількість вручну та на око. При цьому дозуванні засіб для прання витрачається нераціонально, що значно збільшує витрати на миючі засоби та згубно впливає на стан оточуючого середовища.

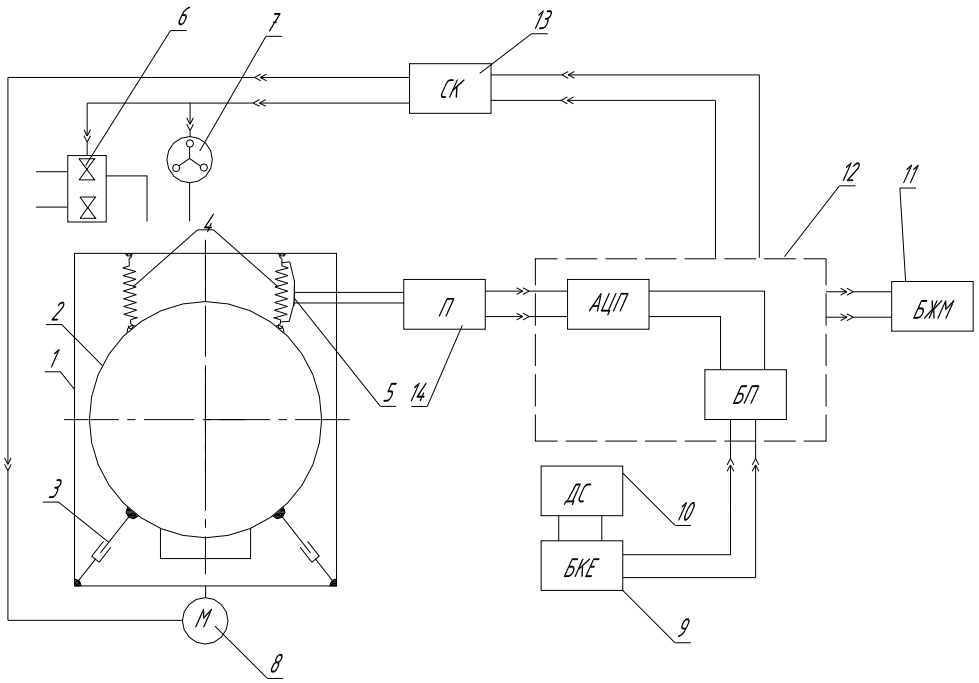
Тому створення пристрою, який зможе автоматично дозувати засоби для прання (миючі засоби, кондиціонери для білизни, засоби для підкрохмалювання, ароматизації і т.п.) залежно від ваги білизни, є актуальним питанням. Такий пристрій дозволить скоротити витрати на вказані засоби, полегшить сам процес прання, крім того, може значно поліпшити екологічний стан оточуючого середовища.

Основна частина

Для створення системи дозування рідких миючих засобів, розроблено структурну схему, яка ілюструє автоматичне дозування рідкого маючого засобу в залежності від кількості завантаженої білизни до барабана пральної машині (рис. 1).

Система автоматичного керування дозування рідкого маючого засобу спрацьовує при зміні ваги завантаженої білизни до барабана пральної машини та працює наступним чином. До корпусу бака пральної машини кріпляться пружні елементи 4, з тензометричною балочкою та встановленим на одному з них тензометричного датчику 5. В результаті зміни ваги білизни у барабані пральної машини, незалежно від режиму роботи, тензометричний датчик генерує напругу на його електродах. Рівень напруги прямо пропорційний переміщенню тензодатчика. Електричний сигнал з датчика поступає на підсилювач *П*, що фактично являє собою комбінацію двох блоків – підсилення та перетворення. Підсилений сигнал поступає на мікроконтролер, який власне і керує процесом автоматичного дозування рідкого маючого засобу. В програмі прошивки мікроконтролера записані декілька рівнів зміни ваги білизни (від 1 до 7 кг).

Мікроконтролер посилає вхідний сигнал на схему керування, яка, у свою чергу, керує роботою крокового двигуна перистальтичного насоса 7, що дозує подачу рідкого миючого засобу, а також роботою електромагнітних клапанів 6 для подачі холодної води до баку пральної машини. Рідкий засіб для прання потрапляє в пральний бак через сопла дозатора пральної машини.



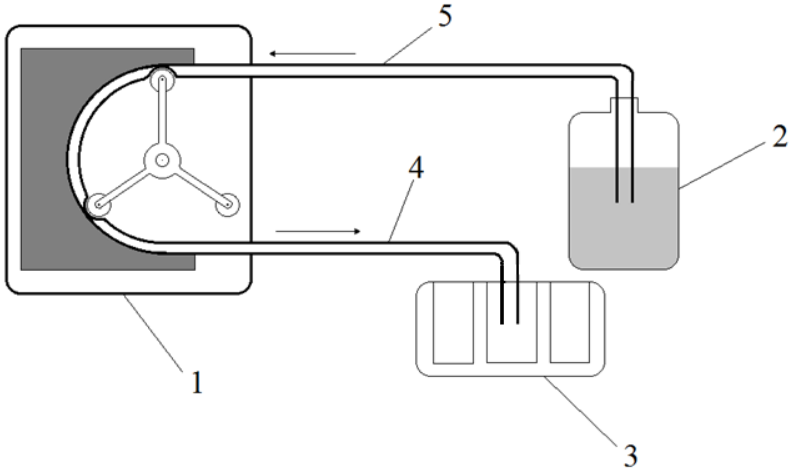
1 – корпус; 2 – бак; 3 – демпфер; 4 – пружний елемент; 5 – тензометричний датчик; 6 – електромагнітні клапани; 7 – перистальтичний насос; 8 – двигун; 9 - блок керування живленням електромагніту; 10 – джерело струму; 11 – блок живлення мікроконтролера; 12 – мікроконтролер; 13 – система керування; 14 – підсилювач

Рис. 1. Система автоматичного дозування рідкого засобу для прання в залежності від кількості завантаженої білизни

Запропонована схема має в своєму складі пристрій дозування засобу для прання та пристрій для зважування завантаженої білизни. Тому наступні дії спрямовані на дослідження та розробку конструкцій вказаних пристроїв.

Система дозування (рис. 2) складається безпосередньо з перистальтичного насоса 1, який з'єднаний з контейнером для миючих засобів 2 і дозатором пральної машини 3 з'єднувальними патрубками 4,5.

Переміщення рідин малого та високого ступеня в'язкості здійснюють ролики [1], розташовані під кутом 120° або 180° (залежно від їх кількості) відносно один одного на роторі, які, рухаючись по колу, передавлюють трубку з рідиною, і рухаючись вздовж трубки, проштовхують рідину вперед, забезпечуючи рівномірне її переміщення від контейнера з рідким миючим засобом 2 до дозатора пральної машини 3. Рідина перебуває в контакті виключно із трубкою (шлангом) перистальтичного насоса, що дозволяє перекачувати різні рідини при використанні шлангів з різних матеріалів.



1 – перистальтичний насос; 2 – контейнер з миючим засобом; 3 – дозатор пральної машини; 4 – подаючий патрубок; 5 – відвідний патрубок
Рис. 2. Система дозування рідких миючих засобів

Для дозування прального засобу в залежності від ваги завантаженої білизни, необхідно визначити його об'єм, який буде переміщено перистальтичним насосом за один повний оберт. Для цього представимо трубку перистальтичного насоса в лінійному вигляді (рис. 3) [2]. Таким чином внутрішній діаметр трубки та її робочу довжину представляємо у вигляді циліндру, об'єм якого ми можемо розрахувати.

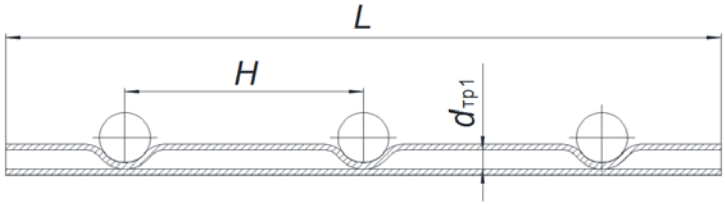


Рис. 3. Лінійна схема перистальтичного насоса

Довжини кола робочої ділянки трубки:

$$L = 2\pi \cdot R_{цт}, \quad (1)$$

де $R_{цт}$ – радіус від осі обертання ротора до центра трубки.

Довжина циліндра, утвореного відстанню між двома роликами:

$$H = \frac{L}{Q_p}, \quad (2)$$

де Q_p – кількість роликів.

Визначаємо об'єм циліндра, що утворений відстанню між двома роликами:

$$V_ц = \pi \cdot r_{тр}^2 \cdot H, \quad (3)$$

де $r_{тр}$ – внутрішній радіус трубки.

Розрахунок об'єму миючого засобу за повний оберт ротора (360°):

$$V_{1об} = V_ц \cdot Q_p. \quad (4)$$

Отже визначення кількості обертів ротора перистальтичного насоса для дозування прального засобу, необхідного для прання 1кг сухої білизни, виконується за наступною формулою:

$$n = \frac{V_{ср}}{V_{1об}}, \quad (5)$$

де $V_{ср}$ – середнє значення об'єму миючого засобу необхідного для прання 1 кг білизни.

Для визначення середнього значення об'єму прального засобу необхідного для прання 1 кг білизни був проаналізований сучасний ринок рідких миючих засобів, розглянуто дані різних виробників пральних засобів. Встановлено, що на 1 кг сухої білизни потрібно в середньому 16 мл прального засобу (незалежно від виробника).

Перистальтичний насос запропоновано приводити в рух за допомогою крокового електродвигуна, який дозволяє регулювати кількість обертів ротора, що ідеально підходить для автоматичного керування процесом та точного дозування засобу для прання.

Для визначення ваги сухої білизни, що завантажується в барабан, запропоновано схему пристрою [3], що включає в себе такі елементи: вузол для вимірювання деформації пружного елементу та систему обробки інформації (мікроконтролер). Вузол для вимірювання значення деформації включає в себе: пружний елемент 1 (рис. 4) у вигляді пружини розтягу, пружно деформовану балку 2 на яку кріпиться датчик навантаження 4. Система обробки інформації включає в себе: блок керування 3; датчик навантаження 4.

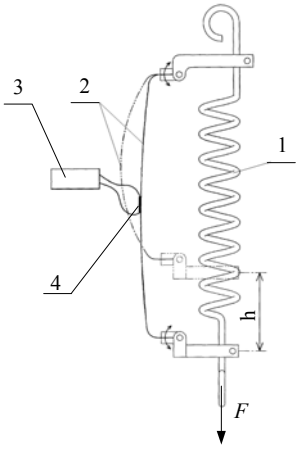


Рис. 4. Схема вимірювання величини деформації пружного елемента

При завантаженні сухої білизни у пральний барабан його вага збільшується, в результаті чого зусилля *F*, що прикладене до пружного елемента, змінюється, і, отже, довжина спіралеподібної частини

пружного елемента 1 збільшується на величину h. Оскільки пружний елемент деформується пропорційно кількості білизни, що розміщена у барабані, то вага білизни може бути визначена за допомогою вимірювання значення деформації пружного елемента 1 на величину h.

Блок керування 3 для розрахунку ваги білизни використовує значення деформації, що вимірюється датчиком навантаження 4 з пружним елементом 1 і передає його на мікропроцесор автоматичної пральної машини. Мікропроцесор обробляє отриману інформацію та подає сигнал на систему керування роботою крокового двигуна перистальтичного насоса, що дозує подачу засобу для прання.

Для розрахунку робочих параметрів і конструктивних характеристик пружного елементу використано відповідну методику [4].

Видовження h пружного елемента визначаємо за формулою:

$$h = M \cdot i(F - F_O), \tag{6}$$

де M – піддатливість одного витка (розтягання витка від одиничної сили), Н/мм; i – число робочих витків; F_O – початкове навантаження, Н; F – прикладене навантаження, Н.

Піддатливість одного витка визначається за формулою:

$$M = \frac{8C^3}{G \cdot d}, \tag{7}$$

де G – модуль зрушення, Н/м^2; d – діаметр дроту пружини, м; C – індекс пружини, який дорівнює відношенню середнього діаметра пружини до діаметра дроту.

Робимо припущення, що на пружину діє сила:

$$F = mg, \tag{8}$$

де m – маса сухої білизни, що завантажується в барабан, кг; g – прискорення вільного падіння, м/с^2.

При цьому початковим навантаженням пружини F_O нехтуємо, вважаючи, що в статичному режимі дія барабана на пружину вже врахована, тому $F_O = 0$.

Отже, виконуючи підстановки даних припущень у формулу (6), отримаємо вираз для визначення величини видовження пружини від ваги завантаженої білизни:

$$h = m \cdot g \cdot i \cdot \frac{8C^3}{G \cdot d}. \tag{9}$$

Модуль зрушення G для сталевих пружин вибирається залежно від хімічного складу сталі. Рекомендовані значення індексу пружини залежно від її діаметра приведені у відповідній літературі.

Висновки

В результаті проведеної роботи розроблено структурну схему системи автоматичного дозування рідкого прального засобу в пральних машинах, яка дозволяє зменшити витрати рідин для прання; уникнути додаткових енерговитрат. Дана система має в своєму складі два пристрої – пристрій дозування засобу для прання та пристрій для зважування завантаженої білизни. Запропоновано методику розрахунку дозування кількості миючого рідкого засобу на одиницю ваги завантаженої білизни. Для визначення середнього значення об'єму прального засобу на одиницю ваги білизни проаналізовано ринок сучасних миючих засобів. Приведено методику розрахунку величини деформації пружного елемента пристрою для зважування завантаженої білизн.

Запропонована система дозування дозволяє зменшити витрати засобів для прання та уникнути додаткових енерговитрат, позитивно впливає на екологічний стан оточуючого середовища.

Література

1. Мировые водные технологии. Схема работы перистальтического насоса [Электронный ресурс] / ООО НПП "Мировые Водные Технологии". – М. : Unstandard, 2009. – Режим доступа : http://wwtec.ru/index.php?id=530.

2. Шейпак А. А.Методы расчета подачи перистальтического насоса линейного типа [Электронный ресурс] / А. А. Шейпак, А. И. Гришин, В. Н. Чичерюкин // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. – 2015. – № 01. – С. 12–25. – Режим доступа : http://maplantsjournal.ru/file/out/782305.

3. Пат. RU 2466226 C2, МПК D06F39/00 (2006.01), D06F33/00 (2006.01). Стиральная машина и ее устройство для определения количества белья / ЛИ Санг Дзун (KR), ХАН Дзеонг Су (KR), ЧОИ Хиен Йоунг (KR), ХА Дзи Хоон (KR) ; заявитель и патентообладатель САМСУНГ ЭЛЕКТРОНИКС КО., ЛТД. (KR). – № 2010143272/12 ; заявл. 21.10.2010 ; опубл. 10.11.2012, Бюл. № 31.

4. Лебедев В.С. Расчет и конструирование типовых машин и аппаратов бытового назначения / Лебедев В.С. – М. : Легпромбытиздат, 1982. –326 с.

Рецензія/Peer review : 20.02.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: к.т.н. проф. Кармаліта А.К.

УДК 681.5.08

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

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЛІНІЙНОГО ТЕПЛОВОГО РОЗШИРЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ ТВЕРДИХ ТІЛ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Удосконалено спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення полімерних твердих тіл.

Ключові слова: теплове розширення, ущільнення компресора, деталі клапана, точність досліджень, полімерні тверді тіла.

V.P. SVIDERSKYI, V.S. YAREMCHUK, A.V. FURMAN
Khmelnytsky National University

THE DETERMINING METHOD OF THE COEFFICIENT OF LINEAR THERMAL EXPANSION OF POLYMER SOLIDS OF SPECIAL FUNCTION

The determining method of the coefficient of linear thermal expansion of expensive heat-resistant polymer solids was improved in the article. The accuracy of the research of the coefficient of linear thermal expansion of heat-resistant polymer materials is rather high and it equals 1.17–2.05 %. The objective of this work was the extension of functionality for research of the coefficient of linear thermal expansion of expensive heat-resistant composite materials. The authors analysed the device for determination of coefficient of linear thermal expansion of non-metallic solids.

Key words: thermal expansion, compressor compaction, valve components, accuracy of research, polymeric solids.

Вступ. Полімерні матеріали при нагріванні в порівнянні з металами і сплавами більш суттєво розширюються. Це призводить до виникнення значних механічних напруг, які необхідно враховувати при застосуванні полімерів в техніці.

Так, при застосуванні ущільнюючих елементів, деталей клапанів з полімерних матеріалів в компресорах без змащення необхідно детально розраховувати теплові зазори в місцях спряження. В іншому випадку при роботі компресора ущільнення, деталі клапанів в результаті теплового розширення можуть вийти з ладу [1, 2].

Величину напруження (σ), що виникає в результаті розширення затиснутого зразка полімерного матеріалу можна визначити за формулою [3]:

$$\sigma = M \cdot \beta \cdot \alpha \cdot \tau_{PO}, \quad (1)$$

де M – модуль пружності матеріалу; β – швидкість зростання температури; α – коефіцієнт лінійного теплового розширення (КЛТР); τ_{PO} – передекспоненціальний множник у рівнянні температурної залежності часу релаксації напруження.

Стійкість же до фрикційного або будь-якого іншого теплового удару матеріалу можна оцінити за допомогою коефіцієнта:

$$K = \delta \cdot \frac{\lambda}{\alpha}, \quad (2)$$

де δ – критерій зносостійкості, що дорівнює відношенню міцності до модуля пружності або твердості; λ – коефіцієнт теплопровідності.

Нами удосконалена установка і спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення металевих і неметалевих твердих тіл [4–6].

Однак спосіб визначення коефіцієнта лінійного розширення розроблений нами раніше [6] має такий недолік: для вимірювання коефіцієнта лінійного теплового розширення використовують стрижні з досить великою довжиною 160 мм. Виготовлення ж таких зразків з термостійких дороговартісних полімерних композиційних матеріалів на основі політетрафторетилену, ароматичного поліаміду, поліфенілхіноксакліну, поліарілату, ароматичного поліміду і т.ін., що мають в 5–8 разів більший КЛТР ніж металів, не завжди можна реалізувати через їх технологічні особливості [7–9].

Мета роботи: розробити спосіб для визначення коефіцієнта лінійного розширення з достатньо високою точністю дороговартісних термостійких полімерних матеріалів.

Основний розділ. Завданням роботи є розширення функціональних можливостей для дослідження КЛТР дороговартісних термостійких композиційних матеріалів. Це вирішується тим, що за цим способом застосовують зразки діаметром 5 мм і довжиною 20 мм, що встановлюються сферичним кінцем униз в скляну пробірку, а зверху на цей зразок розташовується скляний циліндричний стрижень такого ж діаметра довжиною 140 мм. Далі вимірюють зміну довжини такого комбінованого зразка під час нагріву до 100 ºС в порівнянні з лінійним тепловим розширенням скляного зразка діаметром 5 мм і довжиною 160 мм.

Визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення за цим способом виконується з достатньо

високою точністю для полімерних твердих тіл (рис. 1).

Твердотільний комбінований зразок, що складається з досліджуваного стрижня *8* довжиною 20 мм, сферичним кінцем донизу і зверху розташованого скляного стрижня *7* довжиною 140 мм, які розміщені у скляній пробірці *5*, нагрівають в охолоджувальній рідині "Тосол А-40" (з температурою кипіння 120 ºС) до температури 100 ºС. Після цього, за допомогою пристрою для термостатування DigiCOP 17, з термопарою *18*, такий комбінований зразок витримують при цій температурі протягом п'яти хвилин. Зміну довжини нагрітого комбінованого зразка порівняно з його початковою довжиною (при кімнатній температурі) вимірюють за допомогою важільно-зубчастої головки 2МИГ з ціною поділки 0,002 мм і діапазоном вимірювань 0–2 мм, з рухомим штоком 13, що може переміщатися у вертикальній площині. Окремо виконують такі ж дослідження для скляного зразка довжиною 160 мм.

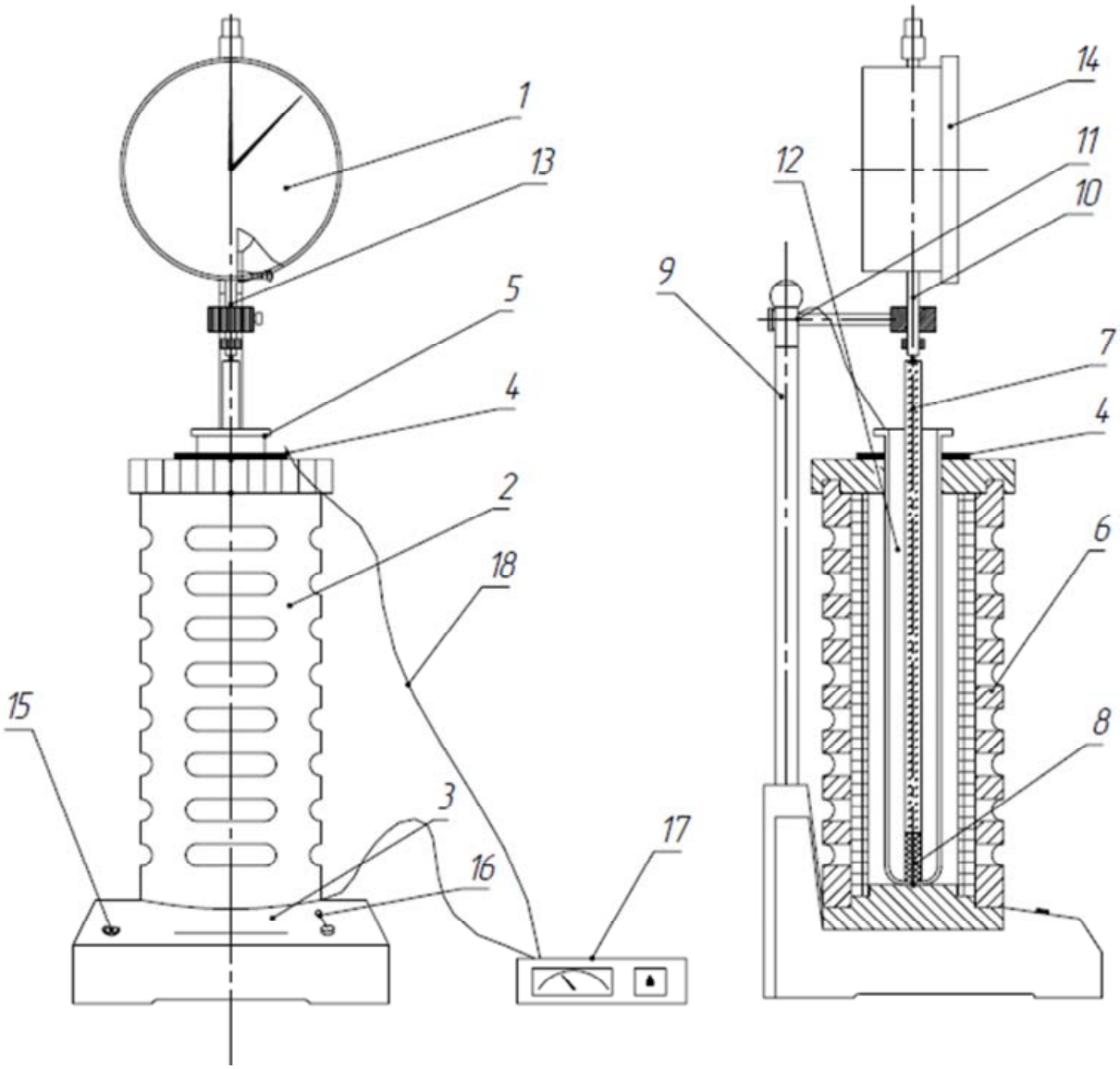


Рис. 1. Установка для визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення неметалевих твердих тіл:
***1* – важільно-зубчаста головка; *2* – захисний кожух; *3* – корпус; *4* – прокладка; *5* – пробірка; *6* – нагрівач;**
***7* – скляний стрижень довжиною 140 мм; *8* – досліджуваний стрижень довжиною 20 мм; *9* – стійка; *10* – кронштейн;**
***11* – гвинт; *12* – кришка; *13* – шток; *14* – рухома поворотна шкала; *15*– індикаторна лампа; *16* – кнопка вимикача;**
***17* – термостатуючий пристрій; *18* – термопара**

Проведення експерименту. 1. У пробірки з комплекту приладу опускають у кожну з них досліджуваний стрижень діаметром 5 мм і довжиною 20 мм, сферичним кінцем донизу, зверху на цей зразок встановлюють скляний стрижень такого ж діаметра довжиною 140 мм і наповнюють рідиною для охолодження "Тосол А-40" на 4/5 її об'єму (за кімнатної температури), після чого лабораторним термометром вимірюють температуру цієї рідини t_1.

2. У кронштейн *10* встановлюють важільно-зубчасту головку 2МИГ і повертають її на чверть обороту в бік, до упору. Пробірку з досліджуваним комбінованим стрижнем через гумову прокладку *4* та отвір у кришці приладу *12* вносять у нагрівач. Після цього встановлюють у пробірку термопару *18*.

3. Відтягують шток важільно-зубчастої головки і встановлюють її над пробіркою, повертаючи кронштейн до упору в протилежному напрямі. Опускають шток у заглиблення на торці стрижня, фіксуючи кронштейн гвинтом.

4. За допомогою рухомої поворотної шкали важільно-зубчастої головки *14*, встановлюють стрілку на нульову поділку. Після цього вмикають прилад в електромережу (світиться індикаторна лампа *15*).

5. Зміну довжини комбінованого зразка ΔL визначають за відхиленням стрілки важільно-зубчастої головки від початкового положення, після термостатування зразка при температурі 100 ºС протягом п'яти хвилин. Для більш правильного визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення $(\overline{\alpha})$ виконують 3–5 відліків з точністю до половини ціни поділки шкали важільно-зубчастої головки 2МИГ (1 мкм).

6. Кнопкою вимикача *16* вимикають живлення приладу, виймають нагріту пробірку із зразком. Повторюють операції пп. 1–5 для скляного зразка діаметром 5 мм і довжиною 160 мм, а результати вимірювань заносять до таблиці.

Обробка результатів

1. Після закінчення роботи з приладом визначають чисельне значення коефіцієнта лінійного теплового розширення спочатку скляного зразка за формулою:

$$\alpha_i = \frac{L_2 - L_1}{L_1(t_2 - t_1)} = \frac{\Delta L}{L_1(t_2 - t_1)}, \tag{3}$$

де t_1 та t_2 – початкова та кінцева температура тіла, ºС; L_1 та L_2 – довжина тіла, що відповідає цим температурам, мм; ΔL – зміна довжини тіла, мм.

2. Визначають вибіркове середнє значення коефіцієнта лінійного теплового розширення скляного зразка:

$$\overline{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i}{n}, \tag{4}$$

де α_i – коефіцієнт лінійного теплового розширення за даними одного заміру; n – кількість замірів.

3. Визначають середню зміну довжини ΔL_c скляного зразка (L =140 мм):

$$\Delta L_c = L_1(t_2 - t_1)\alpha. \tag{5}$$

4. Віднімаємо від зміни довжини комбінованого зразка ΔL середню зміну довжини ΔL_c скляного зразка довжиною 140 мм знаходимо зміну довжини досліджуваного стрижня діаметром 5 мм і довжиною 20 мм:

$$\Delta L_з = \Delta L - \Delta L_c \tag{6}$$

5. Визначають чисельне значення коефіцієнта лінійного теплового розширення досліджуваного стрижня за формулою (3).

6. Визначають вибіркове середнє значення коефіцієнта лінійного теплового розширення досліджуваного стрижня:

$$\overline{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i}{n}.$$

7. Знаходять вибіркову дисперсію і середнє квадратичне відхилення коефіцієнта лінійного теплового розширення:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^{n} (\alpha_i - \overline{\alpha})^2, \tag{7}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}. \tag{8}$$

8. Визначають вибірковий коефіцієнт варіації:

$$\gamma = \frac{\sigma}{\overline{\alpha}} \cdot 100\ \%. \tag{9}$$

Приклад визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення полімерного термостійкого композиційного матеріалу Ф4ВВ20 [7]. Комбінований зразок, що складається з досліджуваного стрижня матеріалу Ф4ВВ20 довжиною 20 мм, сферичним кінцем донизу і зверху розташованого скляного стрижня довжиною 140 мм, які розміщені у скляній пробірці на 4/5 наповнену рідиною "Тосол А-40", при температурі t_1 = 20 ºС, нагрівають до температури 100 ºС. Дослідження також виконують для скляного зразка довжиною 160 мм. Результати п'яти дослідів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Експериментальні та розрахункові дані

№ з/п	ΔL_{ic}, мм, скляний зразок, $L_0 = 160$ мм	α_{ic}, $\times 10^{-6}$, K^{-1}, скляний зразок	$\overline{\alpha}_{\tilde{n}}$, $\times 10^{-6}$, K^{-1}, скляний зразок	ΔL_{ic}, мм, скляний зразок, $L_0 = 140$ мм	ΔL_{ik}, мм, комбі-нований зразок, $L_0 = 160$ мм	$\Delta L_{iз}$, мм, досліджу-ваний зразок, $L_0 = 20$ мм	$\alpha_{iз}$, $\times 10^{-6}$, K^{-1}, досліджу-ваний зразок	$\overline{\alpha}_{ç}$, $\times 10^{-6}$, K^{-1}, досліжу-ваний зразок	Коефі-цієнт варіації γ, %
1	0,106	8,3	8,5	0,095	0,201	0,106	66,3	67,0	1,17
2	0,111	8,7			0,203	0,108	67,5		
3	0,108	8,4			0,201	0,106	66,3		
4	0,109	8,5			0,202	0,107	66,9		
5	0,110	8,6			0,204	0,109	68,1		

Приклад визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення полімерного термостійкого матеріалу ароматичний поліамід Фенілон С-2 [8]. Комбінований зразок, що складається з досліджуваного стрижня матеріалу ароматичного поліаміду Фенілон С-2 довжиною 20 мм, сферичним кінцем донизу і зверху розташованого скляного стрижня довжиною 140 мм, які розміщені у скляній пробірці на 4/5 наповнену рідиною “Тосол А-40”, при температурі t_1 = 20 ºС, нагрівають до температури 100 ºС. Дослідження також виконують для скляного зразка довжиною 160 мм. Результати п’яти дослідів наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Експериментальні та розрахункові дані

№ з/п	ΔL_{ic}, мм, скляний зразок, $L_0 = 160$ мм	α_{ic}, $\times 10^{-6}$, 1/K, скляний зразок	$\overline{\alpha}_{\tilde{n}}$, $\times 10^{-6}$, K^{-1}, скляний зразок	ΔL_{ic}, мм, скляний зразок, $L_0 = 140$ мм	ΔL_{ik}, мм, комбі-нований зразок, $L_0 = 160$ мм	$\Delta L_{iз}$, мм, досліджу-ваний зразок, $L_0 = 20$ мм	$\alpha_{iз}$, $\times 10^{-6}$, K^{-1}, досліджу-ваний зразок	$\overline{\alpha}_{ç}$, $\times 10^{-6}$, K^{-1}, досліжу-ваний зразок	Коефі-цієнт варіації γ, %
1	0,106	8,3	8,5	0,095	0,152	0,057	35,6	36,5	2,05
2	0,111	8,7			0,155	0,06	37,5		
3	0,108	8,4			0,153	0,058	36,3		
4	0,109	8,5			0,154	0,059	36,9		
5	0,110	8,6			0,153	0,058	36,3		

Приклад визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення полімерного термостійкого матеріалу ароматичний поліімід ПМ-69 [9]. Комбінований зразок, що складається з досліджуваного стрижня матеріалу ароматичного поліміду ПМ-69 довжиною 20 мм, сферичним кінцем донизу і зверху розташованого скляного стрижня довжиною 140 мм, які розміщені у скляній пробірці на 4/5 наповнену рідиною “Тосол А-40”, при температурі t_1 = 20 ºС, нагрівають до температури 100 ºС. Дослідження також виконують для скляного зразка довжиною 160 мм. Результати п’яти дослідів наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Експериментальні та розрахункові дані

№ з/п	ΔL_{ic}, мм, скляний зразок, $L_0 = 160$ мм	α_{ic}, $\times 10^{-6}$, 1/K, скляний зразок	$\overline{\alpha}_{\tilde{n}}$, $\times 10^{-6}$, K^{-1}, скляний зразок	ΔL_{ic}, мм, скляний зразок, $L_0 = 140$ мм	ΔL_{ik}, мм, комбі-нований зразок, $L_0 = 160$ мм	$\Delta L_{iз}$, мм, досліджу-ваний зразок, $L_0 = 20$ мм	$\alpha_{iз}$, $\times 10^{-6}$, K^{-1}, досліджу-ваний зразок	$\overline{\alpha}_{ç}$, $\times 10^{-6}$, K^{-1}, досліжу-ваний зразок	Коефі-цієнт варіації γ, %
1	0,106	8,3	8,5	0,095	0,191	0,096	60,0	61,28	1,27
2	0,111	8,7			0,194	0,099	61,9		
3	0,108	8,4			0,193	0,098	61,3		
4	0,109	8,5			0,193	0,098	61,3		
5	0,110	8,6			0,194	0,099	61,9		

Отже, запропонований спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення полімерних твердих тіл дає можливість виконувати їх дослідження в діапазоні (30– 80)·10^{-6} K^{-1} для зразків довжиною 20 мм, причому точність досліджень є досить високою: коефіцієнт варіації знаходиться в межах 1,17–2,05 %.

Висновки:

Удосконалено спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення дороговартісних

термостійких полімерних матеріалів.

Точність виконаних досліджень коефіцієнта лінійного теплового розширення полімерних термостійких матеріалів є досить високою і складає 1,17–2,05 %.

Література

1. Фотин Б. С. Поршневые компрессоры / Б. С. Фотин, И. Б. Пирумов, И. К. Прилуцкий, П. И. Пластинин. – Москва : Машиностроение, Ленинград. отд-е, 1987. – 372 с.

2. Видякин Ю. А. Оппозитные компрессоры / Ю. А. Видякин, Е. Б. Доброклонский, Т. Ф. Кондратьева. – Москва : Машиностроение. 1979. – 280 с.

3. Слонимский Г. Л. Механическая работоспособность и теплостойкость полимеров / Г. Л. Слонимский, А. А. Аскадский // Механика полимеров. – 1972. – № 1. – С. 47–62.

4. Свідерський В. П. Удосконалення експериментальної установки для визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення металевих і неметалевих твердих тіл / В. П. Свідерський, В. С. Яремчук, Ю. О. Захарчук // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – № 3. – С. 281–285.

5. Пат. № 98835 Україна, МПК G01N25/16. Установка для визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення твердих тіл / В. П. Свідерський, В. С. Яремчук ; заявник і патентовласник Хмельницький національного університет. – № u201412299 ; заявл. 14. 11.2014 ; опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9. – 12 с.

6. Пат. № 98777 Україна, МПК G01N25/16. Спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення твердих тіл / В. П. Свідерський, В. С. Яремчук ; заявник і патентовласник Хмельницький нац. університет. – № u201411517 ; заявл. 23.10.2014 ; опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9. – 12 с.

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

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

9. Полиимиды – класс термостойких полимеров / М. И. Бессонов, М. М. Котон, В. В. Кудрявцев, Л. А. Лайус. – Ленинград : Наука, 1983. – 328 с.

10. Яремчук В. С. Спосіб вимірювання коефіцієнта лінійного теплового розширення / В. С. Яремчук, В. П. Свідерський // Повышение качества, надежности и долговечности технических систем и технологических процессов : сб. тр. XII Междунар. науч.-техн. конференции, 9–16 дек. 2014 г., Таба (Египет). – Хмельницкий : ХНУ, 2014. – С. 111–118.

11. Пат. № 112598 Україна, МПК G01N25/16. Спосіб визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення неметалевих твердих тіл / В. П. Свідерський, В. С. Яремчук ; заявник і патентовласник Хмельницький нац. університет. – № u201605932 ; заявл. 01.06.2016 ; опубл. 26.12.2016, Бюл. № 24. – 12 с.

Рецензія/Peer review : 20.11.2016 р. Надрукована/Printed :23.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Диха О. В.

УДК 621.81

М.М. КОСІЮК, С.А. КОСТЮК
Хмельницький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РУХОМИХ СФЕРИЧНИХ ШАРНІРНИХ З'ЄДНАНЬ

В статті проведено обґрунтування подальшого розвитку та удосконалення методів підвищення довговічності рухомих сферичних шарнірних з'єднань на прикладі кульової опори передньої підвіски легкового автомобіля. Проведено аналіз останніх досліджень і публікацій. Визначено перспективний напрям підвищення якості сферичної поверхні пальця кульової опори. Проведено дослідження кульових опор і отримано графік залежності величини зазору в спряженні палець-вкладиш від напрацювання. Розглянуто основні фактори впливу на процес зношування пари тертя палець-вкладиш. Сформульовано основні шляхи вирішення комплексної задачі з підвищення довговічності рухомих сферичних шарнірних з'єднань. Запропоновані конструкторські і технологічні рішення для модернізації конструкції кульової опори підвіски легкового автомобіля, які забезпечують суттєве підвищення їх експлуатаційних властивостей і зниження трудомісткості при технічному обслуговувані.

Ключові слова: надійність, довговічність, метод, зношування, параметр, зміцнення.

M.M. KOSIYUK, S.A. KOSTYUK
Khmelnitsky National University

IMPROVING OF THE DURABILITY SPHERICAL MOVABLE ARTICULATED JOINTS

In the article conducted the rationale for further development and improvement of methods improve durability spherical Movable articulated joints for example of ball joint front suspension of the car. Conducted analysis of recent research and publications. Defined perspective direction of improving the quality of the working surface of the finger ball joint. Conducted study of ball joints and received a plot of the magnitude of the gap in conjugation finger-insert of operating time. Considered the main factors affecting on the wear process of the friction pair finger-insert. Formulated the basic ways of solving the complex problem of improving the reliability and durability of the spherical Movable articulated joints. The proposed design and technological solutions for the modernization construction of ball joint suspension of the car, providing a significant increase in their operational properties and reduce complexity in the technical maintenance.

Keywords: reliability, durability, method, wear, parameter, hardening.

Постановка проблеми

В сучасній техніці більше 60% деталей машин відносяться до трибосистем ковзання. Серед них широко застосовуються рухомі сферичні шарніри ковзання, які є відповідальними елементами машин і визначають їх надійність та довговічність [1].

Підвищення довговічності – задача комплексна, яка пов'язує періоди проектування, виготовлення та експлуатації. Для її вирішення використовуються різні галузі знань, вона потребує використання нових організаційно-технічних рішень доцільність яких обґрунтовується з позицій економіки. Сучасний рівень розвитку техніки дозволяє отримати високі показники якості виробу, але затрати можуть бути настільки високими, що ефект від підвищення довговічності вузла не виправдає їх і сумарний результат від проведених заходів буде негативним. Але завжди є широкий діапазон різноманітних можливостей по підвищенню якості деталей вузлів з мінімальними затратами, а саме використання більш якісних матеріалів, розробка технологічних процесів спрямованих на підвищення довговічності та зносостійкості і модернізації їх конструкцій.

Задача з підвищення довговічності рухомих сферичних шарнірів ковзання розглядається на прикладі кульової опори передньої підвіски легкового автомобіля типу «Mac Pherson» названої на честь винахідника. Підвіска компактна і проста, використовується з рульовим управлінням рейкового типу і поперечним розташуванням силового агрегату, що зумовило її широке використання в сучасному автомобілебудуванні.

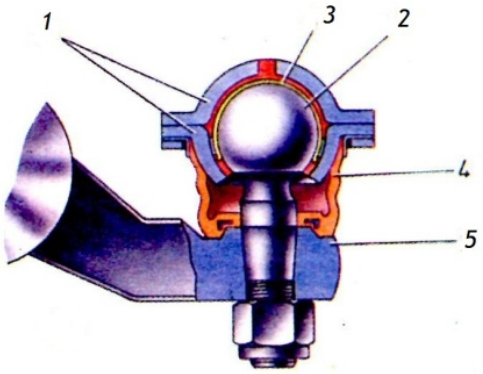


Рис. 1. Кульова опора

1 – корпус; 2 – палець; 3 – вкладиш підшипника ковзання; 4 – захисний армований пильник; 5 – кронштейн маточини

Кульова опора складається з корпусу в якому встановлений полімерний вкладиш, що охоплює сферичну головку пальця. Герметизація шарніра забезпечується встановленням захисного чохла. При збирані шарніра закладається мастило ШРБ–4 розраховане на весь строк служби вузла (за умови збереження герметичності). На рис. 1 представлено типову конструкцію кульової опори автомобіля.

Функціональне призначення кульових опор в конструкції підвіски автомобіля – забезпечувати обертальні, а також лінійні переміщення у всіх напрямках у площині свого кріплення.

В процесі експлуатації елементи підвіски зношуються, що супроводжується характерними параметричними відмовами, в більшості випадків кульових опор (зношування пари тертя палець-вкладиш).

Надійність підвіски як системи визначається надійністю та довговічністю її вузлів і елементів. Вихід з ладу елемента призводить до відмови вузла або системи в цілому. Незважаючи на постійний розвиток науки і техніки задача підвищення надійності та довговічності деталей рухомих сферичних шарнірних з'єднань конструкторсько-технологічними методами, які б забезпечували високі експлуатаційні характеристики залишається актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Основними постійно діючими причинами виникнення дефектів кульових опор передньої підвіски при їх експлуатації є [2]: зношування; пластичні деформації; втомні руйнування; корозія; фізико-хімічні зміни матеріалу деталей.

Причиною відмов деталей при експлуатації служать процеси, що протікають в поверхневому шарі контактуючих деталей. Найчастіше тут переважає процес зношування, так як пара тертя працює в умовах граничного тертя з обмеженим змащуванням (товщина мастила від 1 мкм до молекулярних шарів) [2, 3].

Встановлено гранично-допустиме значення параметра радіального і осьового зазору - 0,7 мм спричиненого процесом зношування в парі тертя [4]. За цієї умови кульова опора підлягає заміні або ремонту.

Вихід з ладу деталей машин як правило спричинений руйнуванням їх поверхневого шару, тому все більшу увагу приділяють операціям поверхневого зміцнення, які б максимально забезпечували експлуатаційні вимоги.

Особливе місце серед методів підвищення якості деталей машин займає зміцнювальна обробка поверхнево-пластичним деформуванням (ППД), яка з точки зору підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин дає можливість отримати зміцнений поверхневий шар необхідної твердості із залишковими стискаючими напруженнями, дрібнодисперсною структурою та згладженою формою мікронерівностей, при відносно не великих матеріальних витратах. Великий внесок у розвиток даного наукового напрямку зроблено в роботі [5, 6].

Перспективним напрямком підвищення якості робочої поверхні є створення зміцненого поверхневого шару з гетерогенною структурою з використанням способу поверхнево-пластичного деформування статико-імпульсної обробки (ППД СІО). Даний спосіб має широкі технологічні можливості і дозволяє формувати зміцнений поверхневий шар з необхідними фізико-механічними властивостями [5].

Метою роботи є обґрунтування подальшого розвитку та удосконалення методів підвищення довговічності рухомих сферичних шарнірів ковзання на прикладі кульової опори передньої підвіски легкового автомобіля.

Виклад основного матеріалу дослідження

Досвід експлуатації машин показує, що приблизно 90% відмов передньої підвіски легкового автомобіля спричинені виходом з ладу кульових опор. Кульова опора сприймає навантаження від маси спорядженого автомобіля та динамічні навантаження від нерівностей дорожнього покриття. Підвищене спрацювання пар тертя порушує нормальну взаємодію деталей у вузлах, що призводить до втрати кінематичної точності механізму в результаті погіршується керованість автомобіля, з'являються недопустимі шум, удари та вібрації, що при подальшій експлуатації призведе до аварійної відмови.

Дослідження стану кульової опори на етапі експлуатації дають можливість виявити та усунути недоліки, які виникли на попередніх етапах проектування та виготовлення.

Проведено дослідження кульових опор легкового автомобіля Деу Ланос, які відбиралися на станції технічного обслуговування у м. Хмельницький з фіксованим пробігом 0; 1000; 20000; 40000 км. Вимірювання зазору у спряжені палець-вкладиш проводилось за наступною методикою.

Палець кульової опори базувався по конічній поверхні в спеціальній оправці, яка встановлювалась в патрон токарного верстата. Корпус місцями свого кріплення приєднувався до спеціальної державки, яка закріплювалась в різцетримачі верстата. Індикаторна стійка встановлювалась на станину верстата. Для вимірювань використовувався індикатор годинникового типу. Вимірювальний наконечник індикатора торкався корпусу кульової опори на рівні центрів з натягом. Переміщуючи супорт токарного верстата (в право, в ліво) в напрямку повздовжньої подачі вимірювався осьовий зазор, а в напрямку поперечної радіальний. Схема вимірювань представлена на рис. 2.

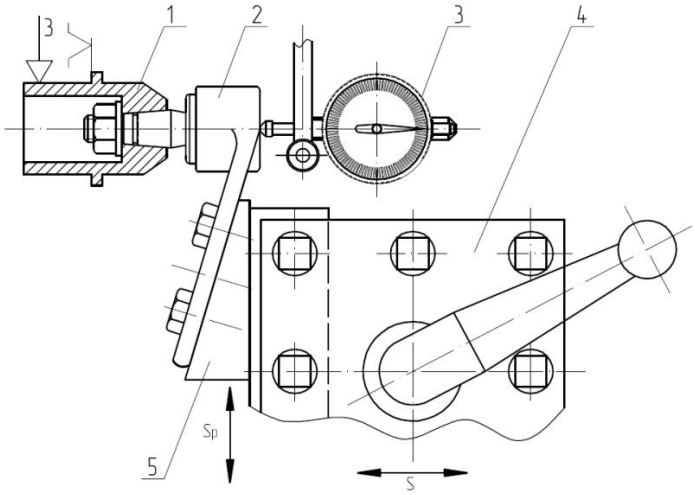


Рис. 2. Схема вимірювань зазору

1 – оправка; 2 – кульовий шарнір; 3 – індикатор; 4 – різцетримач; 5 – державка

Кульова опора з нульовим пробігом вважається еталонною. Пробіг в 1000 км відповідає періоду припрацювання (відбулося згладжування нерівностей поверхонь тертя з утворенням певного мікрорельєфу, рис. 4а, рис. 5.а), 1000 – 20000 км – період нормального зношування (швидкість зношування деталей пари тертя стабілізувалась, встановилась робоча шорсткість, рис. 4б), 20000 – 40000 км відповідає періоду зношування з врахуванням інтенсифікатора (в парі тертя спостерігається збільшення зазору та сліди від корозійного і абразивного зношування сферичної поверхні пальця, рис. 4в, 4г. На робочій поверхні полімерного вкладиша спостерігається укорінення абразивних частинок металу рис. 5б). Динамічні навантаження, які виникають з появою зазору у спряжені інтенсифікують процес зношування. Вплив динамічної складової на процес зношування відображає проміжок (після 20000 км) кривої 1 рис. 3. Після 40000 км починається період інтенсивного зношування в наслідок чого стрімко збільшується радіальний та осьовий зазор.

За результатами вимірювань побудовано графік залежності величини зазору в парі тертя палець-вкладиш від напрацювання, рис. 3.

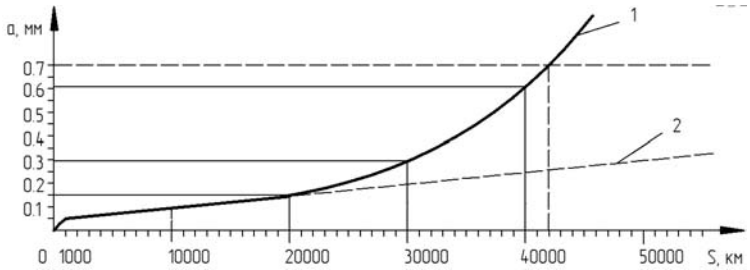


Рис. 3. Графік залежності величини зазору від напрацювання

1 – практична крива з врахуванням динамічних навантажень; 2 – теоретична крива нормального зношування

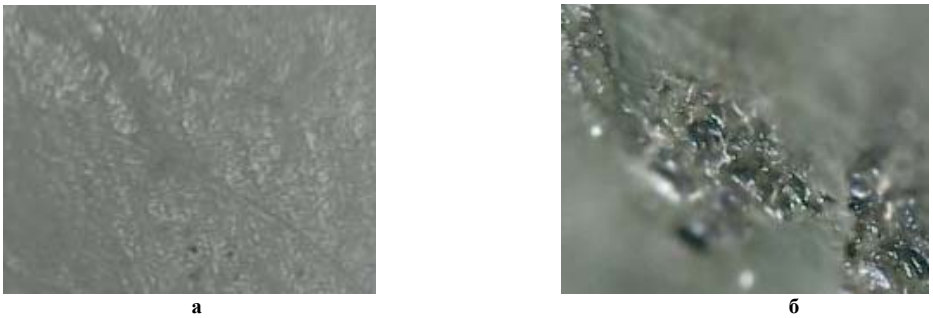
Демонтовані кульові опори розбирались для досліджень стану контактуючих поверхонь пари тертя палець-полімерний вкладиш.

На рис. 4 представлені фрагменти зношених сферичних поверхонь пальця, а на рис. 5. полімерного вкладиша.

а б в г

Рис. 4. Фрагменти зношених сферичних поверхонь пальця, Х 25

а – поверхня в період припрацювання (1000 км); б – період нормального зношування (20000 км); в – поверхня з періодом напрацювання 30000 км; г – поверхня з напрацюванням більше 40000 км



а б

Рис. 5. Фрагменти сферичних поверхонь полімерного вкладиша, Х 25

а – поверхня в період припрацювання (1000 км); б – поверхня з напрацюванням більше 40000 км

Аналіз літературних джерел та результатів проведених досліджень свідчать, що основними факторами, які впливають на довговічність кульової опори є:

- *контактний тиск*, який впливає на інтенсивність зношування і визначається масою спорядженого автомобіля, геометрією контактуючих поверхонь спряження та умовами експлуатації;
- *швидкість відносного ковзання*, яка залежить від конструктивних розмірів деталей пари тертя кульовий палець – полімерний вкладиш, кінематики їх спряження та умов експлуатації;
- *значення температури* в зоні контакту кульового пальця і полімерного вкладиша, що суттєво впливає на вибір матеріалів контактуючих поверхонь і мастила;
- *змащування,* яке суттєво впливає на процес зношування. При проведені заходів спрямованих на поліпшення умов змащування (нанесення мастило утримуючого мікрорельєфу на поверхні тертя) можна досягти значного ефекту. Завдяки постійному відновленню мастильної плівки усувається безпосередній контакт поверхонь пари тертя внаслідок чого, значно зменшуються сили тертя і складаються умови для значного зниження швидкості зношування;
- *якість робочих поверхонь* пари тертя кульовий палець – полімерний вкладиш, що дозволяє отримати геометрично визначний на поверхні мікрорельєф зі згладженими мікронерівностями, що зменшує величину зношування та прискорює процес припрацювання;
- *відхилення від сферичності* робочої поверхні кульового пальця, яка суттєво знижує довговічність пари тертя.

Підвищення довговічності кульового шарніра, на думку авторів, можливо двома шляхами:

1) впровадження інноваційних конструкторських рішень для створення принципово нової конструкції кульового шарніру, використання більш зносостійких матеріалів і як наслідок, підвищенням вартості кінцевого виробу;

2) підвищення довговічності кульової опори шляхом її модернізації, поліпшення існуючих технологій виготовлення кульової опори. Як показує практика, цей напрямок найбільш легкий і малозатратний.

В роботі пропонується низка конструкторських і технологічних рішень, які забезпечують суттєве підвищення довговічності рухомих сферичних шарнірних з’єднань.

Запропоновано пристрій для токарної обробки неповних сферичних поверхонь [7]. Пристрій встановлюється на призматичних напрямних станини токарного верстата, виконаний з можливістю поздовжнього переміщення і фіксації в потрібному положенні і містить поворотний стіл із закріпленим на ньому різцетримачем з установленим в ньому різцем, оснащений механізмом налагодження різцетримача і різця, регульованим підшипниковим вузлом, причому обертання столу здійснюється механізмом, який має кінематичний зв'язок із супортом верстату.

Робота пристрою для точіння сферичних поверхонь ґрунтується на властивості сферичної поверхні, яка полягає у тому, що будь-який її перетин площиною, включаючи площини, зміщені щодо центру сфери, дає окружність. Це дозволяє представити процес формоутворення неповної сфери як узгоджені рухи по напрямній лінії - окружності, отриманої за рахунок обертання заготовки і твірної лінії окружності, описаної вершиною різця по радіусу оброблюваної сфери. Таким чином, точність формоутворення сфери визначається не профілем ріжучого інструмента, а точністю траєкторії цих рухів, тобто кінематикою процесу, що дозволяє отримати сферичні поверхні високої точності.

До переваг запропонованого пристрою відноситься значне підвищення точності обробки і розширення технологічних можливостей. При використанні пристрою досягається висока продуктивність оброблення навіть в умовах дрібносерійного виробництва.

Для зміцнення поверхневого шару сферичних поверхонь, запропоновано пристрій [8]. В основу корисної моделі поставлена задача забезпечити розширення технологічних можливостей ППД, підвищення продуктивності і точності обробки неповної сферичної поверхні.

Задача вирішується шляхом встановлення у корпусі планетарної головки генератора механічних імпульсів, який має кінематичний зв'язок між ротором головки, розміщеними на ньому деформуючими елементами і ударними механізмами, закріпленими на корпусі пристрою, причому бойки ударних механізмів і деформуючі елементи виконані з можливістю переміщення у напрямку перпендикулярному до

осі обертання ротора. Це дозволяє управляти глибиною і ступенем зміцнення поверхневого шару, його мікрорельєфом, а також підвищувати якість, точність і продуктивність оброблення, завдяки використанню багатоелементного деформуючого інструмента.

Проведено модернізацію конструкції кульової опори спрямовану на забезпечення стабільної щільності контакту в парі тертя (палець-вкладиш), що дасть можливість зменшити вплив динамічної складової і наблизитись до нормального процесу зношування крива 2 рис. 3 [9]. Кульовий шарнір містить корпус, палець із кульовою голівкою, заглушку і розміщений у гнізді корпусу вкладиш, який складається з двох частин. Гніздо корпусу має конусоподібну форму, заглушка оснащена пружинним елементом, а вкладиші виготовлені із композиційних матеріалів з антифрикційними наповнювачами з можливістю осьового переміщення у гнізді корпусу, причому кульова головка пальця виконана зі зміцненим поверхневим шаром і мікрорельєфом, утримуючим мастило. Пропонована конструкція є саморегульованою.

В процесі експлуатації кульової опори, за рахунок використання вкладишів, виготовлених із композиційних матеріалів з антифрикційними наповнювачами, а також завдяки зміцненню поверхневого шару і наявності на сферичній поверхні кульового пальця кишень, що утримують мастило, в зоні контакту кульовий палець-вкладиш забезпечуються умови нормального зношування і як наслідок, висока зносостійкість і довговічність кульового шарніра.

Випробування дослідної партії кульових шарнірів, виготовлених у відповідності до запропонованої корисної моделі, підтвердили підвищення їх експлуатаційних властивостей і зниження трудомісткості при технічному обслуговувані.

Висновки

Проведено дослідження кульових опор і отримано графік залежності величини зазору у спряжені палець-вкладиш від напрацювання, установлені основні фактори впливу на процес зношування рухомих сферичних шарнірних з'єднань на прикладі кульової опори передньої підвіски автомобіля. Визначені основні шляхи підвищення їх довговічності. Запропоновані конструкторські і технологічні рішення для модернізації конструкції кульової опори підвіски легкового автомобіля, які забезпечують суттєве підвищення їх експлуатаційних властивостей і зниження трудомісткості при технічному обслуговувані.

Результати проведеної роботи планується використати для розроблення рекомендацій щодо модернізації рухомих сферичних шарнірних з'єднань з метою підвищення їх довговічності.

Література

1. Чернова Г.А. Оценка прочности деталей рулевого управления / Г.А. Чернова, В.Н. Тышкевич, К.А. Бадиков, Ю.И. Моисеев // Изв. ВолгГТУ. – 2013. – № 2. – С. 43–47.

2. Кузьменко А.Г. Контактная механика и расчеты на износ опор скольжения : монография / А.Г. Кузьменко, А.Г. Любин. – Хмельницкий : ХНУ, 2008. – 550 с.

3. Кузьменко А.Г. Теоретическая и експериментальная трибологія. В 12 т. Т. III Развитие методов контактной трибомеханики : монография / А.Г. Кузьменко. – Хмельницкий : ХНУ, 2010. – 270 с.

4. Свідерський В.П. Підвищення зносостійкості кульової опори автомобіля ВАЗ – 2109 / В.П. Свідерський, Л.М. Кириченко, О.Ф. Письменюк // Вісник ХНУ. – 2005. – № 5. Ч.1, Т. 1. – С. 71–73.

5. Киричек А. В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием / А. В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.Г. Лазуткин. – М. : Машиностроеиие, 2004. – 288 с.

6. 6 Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей повехностным пластическим деформированием : справочник. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с., ил.

7. Поз. рішення на корисну модель № u201611728 Україна, МПК B23B 5/00. Пристрій для точіння зовнішніх сферичних поверхонь / М.М. Косіюк, С.А. Костюк ; Хмельницький національний університет (ХНУ). – u201611728 ; заявл. 21.11.2016.

8. Поз. рішення на корисну модель № u201611738 Україна, МПК B24 B 39/04. Пристрій для зміцнення сферичних поверхонь / М.М. Косіюк, С.А. Костюк ; Хмельницький національний університет (ХНУ). – u201611738 ; заявл. 21.11.2016.

9. Поз. рішення на корисну модель № u201611725 Україна, МПК F16 C 11/06. КУЛЬОВИЙ ШАРНІР / М.М. Косіюк, С.А. Костюк ; Хмельницький національний університет (ХНУ). – u201611725 ; заявл. 21.11.2016.

Рецензія/Peer review : 17.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Гладкий Я.М.

УДК 621.01

В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ
Хмельницький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ІНВАРІАНТІВ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЗМІВ ЧЕБИШЕВА ІЗ ЗУПИНКОЮ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЇХ РОБОТИ У СИСТЕМІ SOLIDWORKS

В статті розглядається питання кінематичного синтезу шарнірно-важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки на основі симетричного механізму Чебишева із наближенням верхньої ділянки шатунної кривої до дуги кола. Раніше встановлено, що фактичні значення тривалості зупинок, які забезпечують такі механізми, в більшості випадків значно перевищують теоретичні значення, що вибрані за умов найкращого наближення за Чебишевим. Таким чином, виникла задача визначення фактичних значень таких характеристик законів руху їх вихідної ланки як інваріанти швидкостей, прискорень та кінетичної потужності. З метою перевірки правильності визначення тривалості зупинки вихідної ланки у таких механізмах, проведено комп'ютерне моделювання їх роботи у системі SOLIDWORKS, з використанням SOLIDWORKS Motion.

Ключові слова: кінематичний синтез, механізми Чебишева, кругові напрямні механізми, зупинка вихідної ланки, найкраще наближення за Чебишевим.

V.O.KHARZHEVSKYI
Khmelnytskyi National University

THE DETERMINATION OF ACTUAL VALUES OF KINEMATIC PARAMETERS' INVARIANTS OF CHEBYSHEV'S MECHANISMS WITH DWELL OF AN OUTPUT LINK AND THEIR MODELING IN SOLIDWORKS

Abstract – The kinematic synthesis of dwell linkage mechanisms which are based on symmetrical Chebyshev's mechanism with the approximation of the upper part of the coupler curve to the arc of the circle is considered in the article. It is known that the actual dwell values which are provided by such mechanisms, in the most cases significantly exceed theoretical values that are selected using the Chebyshev's best approximation conditions. So, it is an important task to define actual values of such characteristics of the motion laws of their output link as invariants of velocities, accelerations and kinetic power. Having a goal to verify the accuracy of dwell values determination, the computer modeling in SOLIDWORKS using SOLIDWORKS Motion was carried out.

Keywords: kinematic synthesis, Chebyshev's linkages, circular path generating linkages, dwell of the output link, Chebyshev's best approximation.

Оптимальне проектування механізмів із періодичною зупинкою вихідної ланки є важливою практичною задачею, оскільки такі механізми, як відомо [1, 2, 5, 11,14], використовуються в багатьох галузях сучасного машинобудування. До сучасних технологічних машин, що використовуються в різних галузях машинобудування, зокрема у легкій промисловості, пред'являються наступні вимоги [5]: 1) висока швидкість руху робочих органів машини; 2) висока точність та узгодженість між собою різних робочих органів машини, що приводяться від головного вала машини відповідно до заданих технологічних циклограм; 3) складний характер руху деяких робочих органів, наприклад за один цикл руху потрібно забезпечити одну або декілька зупинок заданої тривалості у заданих положеннях; 4) відносно малі кутові або лінійні переміщення робочих органів. Таким вимогам, зокрема забезпечення високої швидкодії та точності роботи, відповідають важільні механізми. Крім цього, для розв'язання цієї задачі можуть використовуватись інші типи механізмів, зокрема кулачкові, кулачково-важільні, мальтійські, зубчасті механізми неповнозубих коліс тощо. Проте не дивлячись на те, що кулачкові механізми є універсальними за своїми кінематичними характеристиками та є значно простішими за синтезом, важільні механізми часто представляють собою більш досконалу конструкцію та широко впроваджені у машинобудуванні [1, 2, 5, 11,14].

В сучасних умовах, створення нових механізмів можливе лише на основі наукового фундаменту, що дозволяє забезпечувати їх високу ефективність вже на етапі проектування, оскільки подальші розрахунки на міцність, конструктивне оформлення, вибір матеріалів, як правило, вже не можуть суттєво змінити основні властивості механізмів [2].

Одним з наукових напрямків у синтезі важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки є використання базових кругових та прямолінійно-напрямних механізмів. Таким чином, основною задачею синтезу механізмів із зупинкою є саме кінематичний синтез базових напрямних механізмів, а в цьому напрямку, як відомо [1, 2], існує два основних підходи до розв'язання цієї задачі:

1. Використання методів кінематичної геометрії, базові положення якої були започатковані німецьким вченим Бурместером та отримали подальший розвиток, зокрема, в роботах Ліхтенхельдта [6], Мюллера, Бейера, Відосіча, Тесара, Сандора, Ердмана та інших вчених. Базуючись на положеннях диференціальної геометрії та теорії кривизни, розроблено цілий ряд математичних методів синтезу вказаних механізмів, що полягають у пошуку певних особливих точок шатунної площини механізмів, які здатні викреслювати шатунні криві з ділянками наближено постійної кривизни. До таких точок належать точки Болла [11], точки Бурместера, точки Чебишева, а також знайдені та досліджені автором точки розпрямлення 4-го та 5-го порядків.

2. Використання умов найкращого наближення функцій за Чебишевим, що полягає у пошуку таких геометричних параметрів механізмів, які дозволяють отримати не лише найменше відхилення ділянки шатунної кривої від прямої чи кола наближення, але й отримати максимально можливу кількість вузлів інтерполяції між заданою та заміненою функціями на ділянці наближення. Таке наближення функцій за Чебишевим ще називають рівномірним [7]. Ідеї Чебишева отримали подальший розвиток в працях Блоха, Гассмана [14], Саркісяна [15], Гродзенської, Кіницького [2] та інших вчених. Огляд сучасного стану теорії синтезу важільних напрямних механізмів та побудованих на їх основі механізмів із зупинкою вихідної ланки наведено у роботі Уанга [16].

На рис. 1, *а* показано приклад симетричного лямбдоподібного механізму Чебишева. На протязі довгого часу вважалось [1], що чебишевське наближення можливе лише для нижньої вітки шатунної кривої механізму, проте в роботі [8] показано, що таке наближення можливе також для верхньої ділянки. Проте як встановлено в роботі [13], фактична величина тривалості зупинки механізмів, які побудовані на їх основі, значно відрізняється від теоретичних значень, що визначені за умовою найкращого наближення за Чебишевим, в результаті чого зупинка вихідної ланки фактично продовжується за межами теоретичного інтервалу.

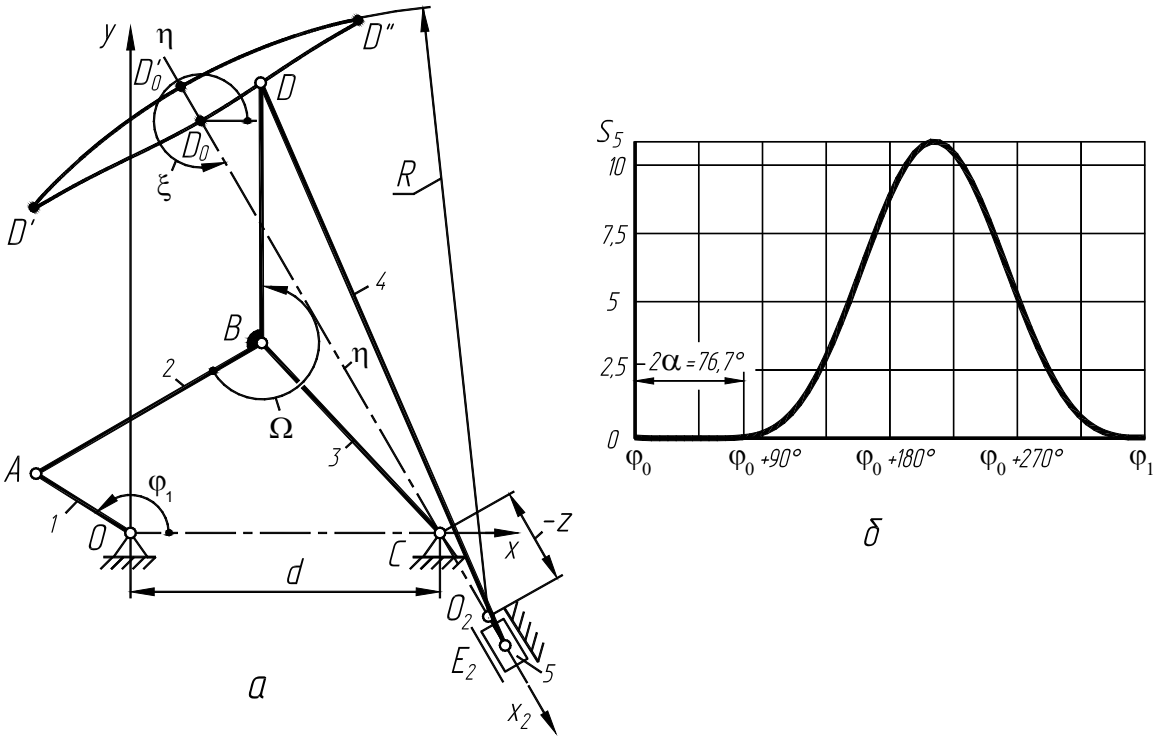


Рис. 1. Важільний механізм із зупинкою вихідної ланки на основі механізму Чебишева *OABCD*, що забезпечує наближення верхньої ділянки шатунної кривої до дуги кола (*а*) та діаграма переміщень його вихідної ланки (*б*)

Крім цього, в роботі [9] проводилось кінематичне дослідження таких механізмів з визначенням інваріантів законів руху їх вихідної ланки, зокрема інваріантів швидкостей, прискорень, кінетичної потужності та їх піків (максимальних значень), а оскільки фактичні значення тривалості зупинки можуть значно відрізнятись від теоретичних, виникає задача в проведенні уточненого розрахунку цих величин.

Таким чином, метою даної роботи є дослідження симетричних механізмів Чебишева з наближенням верхньої ділянки шатунної кривої та визначення фактичних значень інваріантів кінематичних характеристик їх вихідної ланки, з врахуванням величини фактичної тривалості зупинки вихідної ланки. Крім того, для перевірки правильності запропонованих теоретичних положень, необхідно провести комп'ютерне моделювання роботи таких механізмів.

В основі шарнірно-важільного механізму із зупинкою вихідної ланки (рис. 1, *а*) лежить шарнірний чотириланковий механізм *OABC*, шатунна точка *D* якого викреслює криву, що на ділянці *D′D″* наближається до дуги кола радіусом *R*. Відповідно до умов найкращого наближення за Чебишевим, на цій ділянці шатунної кривої спостерігається 6 спільних точок з колом наближення, що є максимально можливим для шатунної кривої шарнірного чотириланкового механізму, оскільки ця крива є алгебраїчною трициркулярною кривою 6-го порядку. Довжина шатуна приєднаної структурної групи *4-5* вибрана рівною радіусу наближення *R*. Таким чином підчас проходження точкою *D* інтервалу наближення *D′D″* вихідна ланка *5* має наближену зупинку, тривалість якої визначається часом перебування шатунної точки *D* на цій ділянці та визначається як кут 2α, що відповідає куту повороту кривошипа *1* у фазі зупинки вихідної ланки.

В роботі [13] проведено визначення фактичних значень тривалості зупинки вихідної ланки механізмів Чебишева, у яких для наближення використовується верхня ділянка шатунної кривої та показано,

що в більшості випадків фактична тривалість зупинки перевищує теоретичні значення.

Відомо [2, 9], що для порівняння законів руху вихідних ланок різних циклових механізмів (кулачкових, шарнірних, в тому числі з коливальним або поступальним рухом вихідної ланки) доцільно використовувати інваріанти кінематичних величин, а саме: переміщень a_k, швидкостей b_k, прискорень c_k, кінетичної (динамічної) потужності d_k та їх константи піків (максимальних значень): швидкостей $B = |b_k|_{\max}$ (рис. 2), прискорень $C = |c_k|_{\max}$ (рис. 3) та кінетичної потужності $D = |d_k|_{\max}$ (рис. 4).

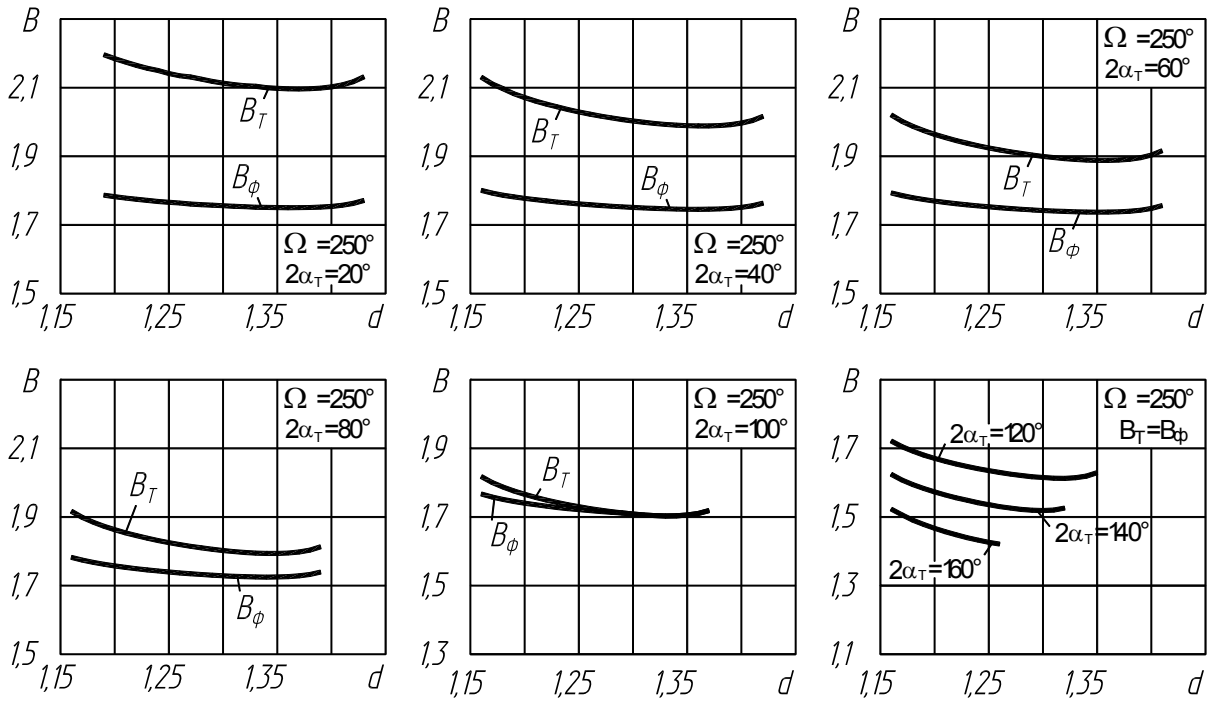


Рис. 2. Діаграми максимальних фактичних значень (піків) інваріантів швидкостей B_Φ досліджуваних механізмів для різних значень теоретичної тривалості зупинки $2\alpha_T$ (теоретичні значення B_T наведені в роботі [9])

Інваріанти кінематичних величин a_k, b_k, c_k, d_k є безрозмірними числовими характеристиками та представляють собою функцію узагальненої координати $k = t/T$, де k – відносний час або фаза циклу, T – період прямого або зворотного ходу вихідної ланки; t – значення часу $(0 \le t \le T)$.

Константи піків B, C, D є об'єктивними критеріями якісної оцінки законів періодичного руху вихідної ланки механізмів [2]. Зокрема, константа піка швидкості B лімітує підвищення працездатності машин за відповідними технологічними причинами, визначає найбільшу кінетичну енергію рухомих мас, а при малих динамічних навантаженнях – сумарну потужність. Константа піка прискорення C визначає найбільші сили інерції $F_{i\max}$, константи піків кінетичної потужності D визначають максимальні значення відповідних складових розрахункових динамічних навантажень на всі ланки передаточних механізмів [2, 9].

Якщо прийняти, що період віддалення дорівнює періоду наближення, тобто коефіцієнт зміни середньої швидкості вихідної ланки K=1 [2], то з врахуванням коливань вихідної ланки в період зупинки, запишемо [9]:

$$a_к = \frac{s_5}{S+2E};\ b_к = \frac{\pi-\alpha}{S+2E}x_5';\ c_к = \frac{(\pi-\alpha)^2}{S+2E}x_5'';\ d_к = b_к c_к, \tag{1}$$

де α – кут повороту кривошипа *1*, що відповідає фазі зупинки вихідної ланки (половина від 2α, оскільки механізм є симетричним); x_5', x_5'' – відповідно аналоги швидкостей та прискорень ланки *5*, що визначаються за методами, наведеними у [3]; $s_5 = x_{E_2} - x_{O_2}$, $S = l_{D_0 D_0'}$.

Використання інваріантів a_k, b_k, c_k, d_k та їх констант піків B, C, D дозволяє порівнювати закони руху вихідної ланки важільних механізмів із законами руху кулачкових механізмів, для яких відомі залежності $a_k(k), b_k(k), c_k(k), d_k(k)$ та їх константи піків.

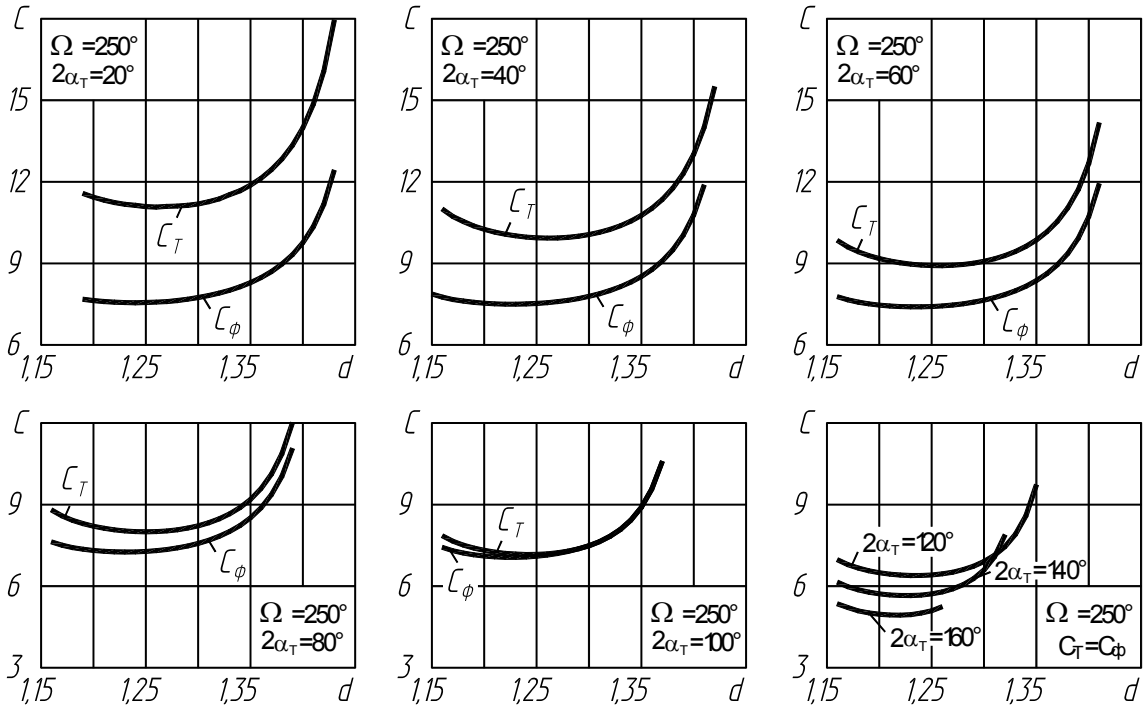


Рис. 3. Діаграми максимальних фактичних значень (піків) інваріантів прискорень $C_Ф$ досліджуваних механізмів для різних значень теоретичної тривалості зупинки $2\alpha_T$ (теоретичні значення C_T наведені в роботі [9])

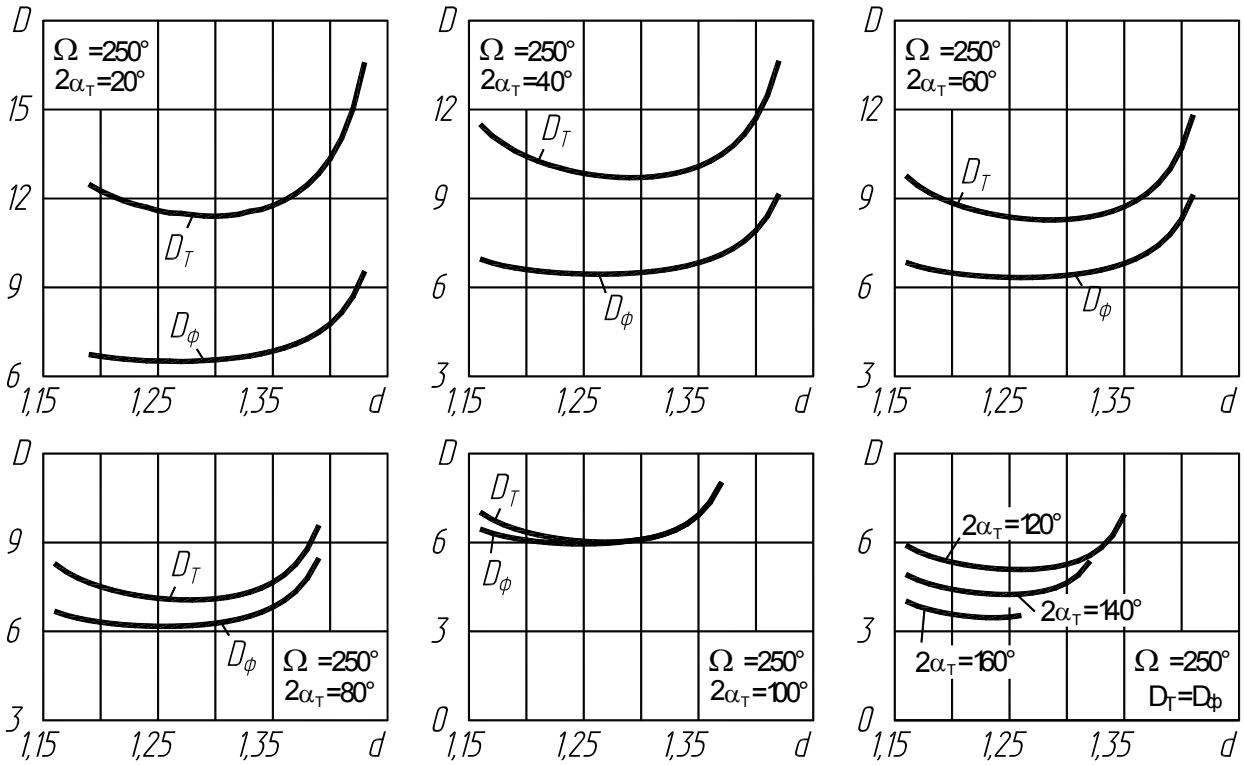


Рис. 4. Діаграми максимальних фактичних значень (піків) інваріантів кінетичної потужності $D_Ф$ досліджуваних механізмів для різних значень теоретичної тривалості зупинки $2\alpha_T$ (теоретичні значення D_T наведені в роботі [9])

Як видно з формул (1), інваріанти кінематичних величин залежать від тривалості зупинки вихідної ланки α, а оскільки, як встановлено в роботі [13], фактичні значення тривалості зупинки для механізмів, що розглядаються, не завжди збігаються з теоретичними значення, то за формулами (1) було проведено розрахунок фактичних значень інваріантів. На рис. 2–4 показані діаграми зміни значень піків інваріантів кінематичних величин, з яких видно, що їх теоретичні значення збігаються з фактичними тільки для механізмів зі значною тривалістю зупинки ($2\alpha_T \geq 100^o$). Причому слід зазначити, що в даному випадку

(Ω=250°) для механізмів з $2\alpha_T$=100° теоретичні значення інваріантів збігаються з фактичними лише частково, для значень $a > 1{,}28$

В роботі [9] вказано, що характер зміни інваріантів дозволяє вибирати оптимальні механізми за цими параметрами, оскільки відповідні криві для певних значень міжосьової відстані a мають чітко виражені мінімуми, проте, як видно, фактично оптимальні значення в більшості випадків не відповідають теоретичним, до того ж, фактичні значення тривалості зупинки 2α вихідної ланки у таких механізмах, як показано у роботі [13], будуть іншими (крім $2\alpha = 120^\circ - 160^\circ$).

З наведених діаграм видно (рис. 2–4), що чим меншою є теоретична тривалість зупинки, тим більшою є різниця ніж теоретичними та фактичними значеннями інваріантів. Це пояснюється тим, що для верхньої ділянки шатунної кривої симетричного механізму Чебишева практично неможливо знайти механізми із невеликою тривалістю зупинки.

Таким чином, важливою є задача перевірки правильності визначення величини фактичної ділянки наближення в таких механізмах. В роботі Свєтловського О.Б. [10] для підтвердження правильності розрахунків проведено експериментальне дослідження механізму Чебишева з наближенням верхньої ділянки шатунної кривої шляхом виготовлення лабораторної експериментальної установки. Отримані ним результати підтвердили теоретичні положення, причому вказано, що отримані відхилення не перевищували 6% [10]. Проте аналіз отриманих діаграм переміщень дозволяє стверджувати, що для виготовлення лабораторної установки було виготовлено механізм з тривалістю зупинки 2α=130°, тому очевидно, що фактична отримана тривалість зупинки відповідала теоретичним значенням, оскільки це справедливо для всіх таких механізмів з 2α>100°. Тому для проведення перевірочних розрахунків доцільно вибрати механізм з невеликою теоретичною тривалістю зупинки 2α. Параметри такого механізму, що забезпечує $2\alpha_T$=20°, наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри механізму Чебишева з наближенням верхньої ділянки шатунної кривої

Параметр	Значення	Параметр	Значення
Довжина кривошипа r	0,3380098	Початок зупинки φ_0, град.	321,6354
Довжина шатуна b	1	Максимальний хід S	0,108553608959
Довжина коромисла c	1	Кут ξ, град.	305
Друге плече шатуна k	1	Кут Ω, град.	250
Міжосьова відстань a	1,3	Радіус наближеного кола R (шатун l_{DE})	2,58563393
α_Σ, град. (теоретичне)	20	α_Σ, град. (практичне)	76,7292
Максимальне відхилення $2E$, (теоретичне, частка від S)	$7{,}53\cdot10^{-8}$	Максимальне відхилення $2E$, (практичне, частка від S)	$2{,}597\cdot10^{-3}$

З метою перевірки правильності розрахунків, було проведено комп'ютерне моделювання вибраного механізму. Для цього була використана комп'ютерна 3D-модель шестиланкового механізму, побудованого на основі кругового напрямного механізму, що використовувалась раніше для дослідження механізмів, синтезованих на основі точок Бурместера [12]. Для зазначеної моделі були встановлені розміри ланок відповідно до табл. 1, при цьому отримана модель має вигляд, як показано на рис. 5. Зазначимо, що розміри моделі приймались таким чином, що $b = c = k = 100$ мм.

Кінематичне дослідження комп'ютерної моделі проводилось за допомогою системи інженерного аналізу SOLIDWORKS Motion, що інтегрована у САПР SOLIDWORKS. Результати проведеного моделювання показано на рис. 6, *б–г*. З отриманої діаграми переміщень (рис. 6, *б*) видно наявність зупинки вихідної ланки механізму, причому тривалість цієї зупинки значно перевищує теоретичне значення ($2\alpha_T$=20°).

Для проведення синтезу та аналізу важільних напрямних механізмів, а також побудованих на їх основі механізмів із зупинкою вихідної ланки було розроблено власне програмне забезпечення *LMechSynthesis*, причому для синтезу механізмів Чебишева з наближенням верхньої ділянки шатунної кривої в програмі використовуються методи, наведені в роботах [4, 8]. Визначення фактичної тривалості зупинки вихідної ланки проводилось за допомогою числового методу з використанням безрозмірного коефіцієнту граничної швидкості вихідної ланки, як описано в роботах [11, 13]. На рис. 6, *а* наведено програмне вікно у *LMechSynthesis* з результатами проведеного синтезу та аналізу механізму, параметри якого зведено у табл. 1. Причому діаграма переміщень вихідної ланки такого механізму, що отримана у програмі *LMechSynthesis*, показана на рис. 1, *б*.

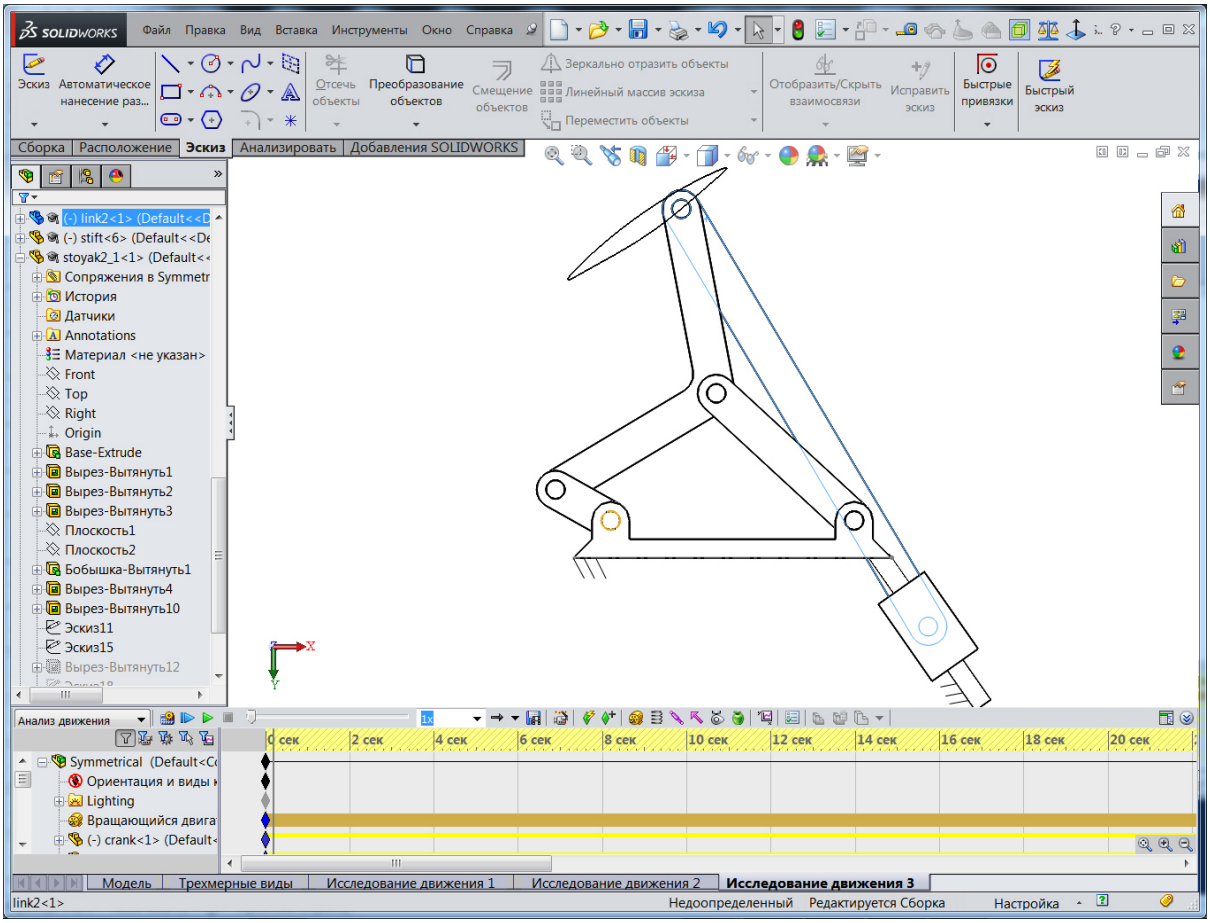


Рис. 5. Комп'ютерна 3D-модель синтезованого механізму у системі SOLIDWORKS (на схемі показана траєкторія руху шатунної точки)

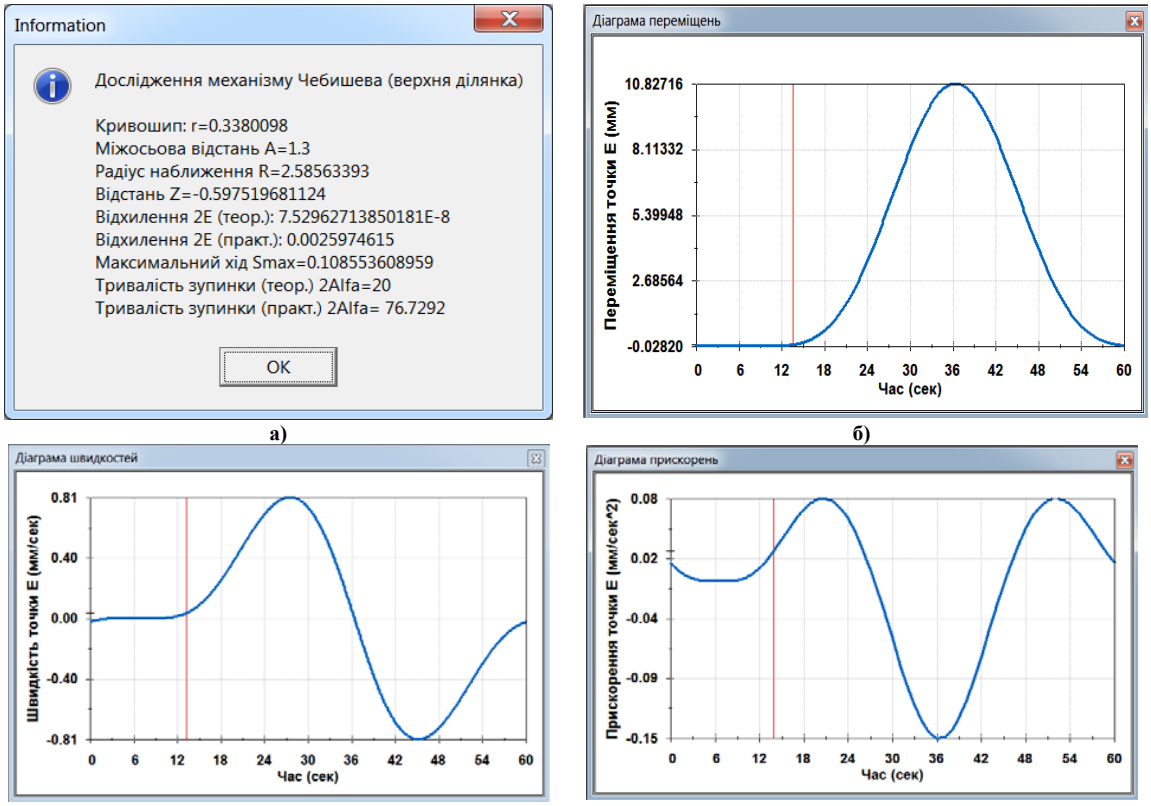


Рис. 6. Результати синтезу та дослідження механізму в програмі *LMechSynthesis* (*а*), а також кінематичного дослідження вихідної ланки механізму у SOLIDWORKS Motion: *б*) діаграма переміщень; *в*) діаграма швидкостей; *г*) діаграма прискорень

Зазначимо, що отримане значення тривалості зупинки 2α у 3,8 рази перевищує теоретичне значення, причому отримана у SOLIDWORKS Motion діаграма переміщень вихідної ланки (рис. 6, *б*) повністю відповідає розрахункам, проведеним у розробленій програмі *LMechSynthesis* (див. рис. 1, *б*), а середня похибка отриманих результатів склала $7 \cdot 10^{-10}$. Це дозволяє стверджувати, що проведений числовий експеримент у SOLIDWORKS підтвердив розрахунки, які вказували, що фактична тривалість зупинки вихідної ланки досліджуваних механізмів Чебишева значно відрізняється від теоретичних значень, а отже характер зміни інваріантів кінематичних величин буде іншим, як показано на рис. 2–4.

Таким чином, проведені в роботі дослідження показали, що закони руху вихідної ланки механізмів Чебишева, у яких для наближення використовується верхня ділянка шатунної кривої, в багатьох випадках характеризуються іншими значеннями інваріантів швидкостей, прискорень та кінетичної потужності порівняно зі значеннями, що розраховані для тривалості зупинки вихідної ланки, яка вибрана з умови найкращого наближення за Чебишевим. Числовий експеримент, проведений у системі SOLIDWORKS, підтвердив правильність вибору величини ділянки наближення у таких механізмах.

Дослідження планується продовжити в напрямку проведення оптимізаційного синтезу таких механізмів за різними критеріями.

Література

1. Артоболевский И. И. Синтез плоских механизмов / И. И. Артоболевский, Н. И Левитский., С. А. Черкудинов. – М. : Физматгиз, 1959. – 1084 с.

2. Киницкий Я.Т. Шарнирные механизмы Чебышева с выстоем выходного звена / Я. Т. Киницкий. – К. : Вища школа, 1990. – 232 с.

3. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин в системі Mathcad : навч. посібник / Я.Т. Кіницький, В.О. Харжевський, М.В. Марченко. – Хмельницький : РВЦ ХНУ, 2014. – 295 с.

4. Кіницький Я.Т. Геометричний синтез симетричних лямбдоподібних механізмів Чебишева чисельним методом / Я.Т. Кіницький, О.Б. Свєтловський, В.О. Харжевський // Вісник Технол. ун-ту Поділля. – 1999. – № 6. – С. 160–162.

5. Кикин А.Б. Разработка методов и средств для структурно-кинематического проектирования рычажных механизмов машин легкой промышленности : дисс. ... докт. техн. Наук : 05.02.13 / А.Б. Кикин ; Санкт-Петербургский государственный университет технологий и дизайна. – Санкт-Петербург, 2006. – 362 с.

6. Лихтенхельдт В. Синтез механизмов / В. Лихтенхельдт. – М. : Наука, 1964. – 228 с.

7. Научное наследие П.Л. Чебышева : вып. 2: Теория механизмов / [отв. ред. Н.Г. Бруевич, И.И. Артоболевский] / АН СССР. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1945. – 192 с.

8. Свєтловський О.Б. Геометричний синтез симетричних лямбдоподібних механізмів Чебишева за заданою тривалістю зупинки вихідної ланки чисельним методом / О.Б. Свєтловський, Я.Т. Кіницький // Вісник Технол. ун-ту Поділля. – 2001. – № 1, Ч. 1. – С. 20–24.

9. Свєтловський О. Б. Кінематичне дослідження симетричних лямбдоподібних механізмів Чебишева, у яких для наближення до дуги кола використовується верхня ділянка шатунної кривої / О. Б. Свєтловський, Я. Т. Кіницький // Вісник Технологічного університету Поділля. Технічні науки. – 2001. – № 3, Ч. 1. – С. 73–77.

10. Свєтловський О.Б. Експериментальне дослідження кінематики шарнірно-важільних механізмів із зупинкою декількох вихідних ланок / О.Б. Свєтловський // Збірник наукових праць. – Хмельницький : Вид-во Національної академії прикордонних військ України (НАПВУ), 2002. – № 19, част. II (спец. випуск). – С. 34–37.

11. Харжевський В. О. Синтез важільних прямолінійно-напрямних механізмів та механізмів із зупинкою вихідної ланки на базі шарнірного чотириланкового механізму : дис. … канд. техн. Наук : 05.02.02 / Харжевський В'ячеслав Олександрович. – Хмельницький, 2004. – 262 с.

12. Харжевський В.О. Комп'ютерне моделювання та аналіз важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки, що побудовані за допомогою точок Бурместера / В.О. Харжевський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – № 3 (80). – С. 30–34.

13. Харжевський В.О. Дослідження законів руху вихідної ланки механізмів, побудованих на основі механізму Чебишева з наближенням верхньої ділянки шатунної кривої / В.О. Харжевський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. – №1 (245). – С. 10–16.

14. Gassmann V. Synthese von Geradführungen mit ebenen Viergelenkgetrieben, Hamburg, Universität der Bundeswehr Diss., 2000. – 102 p.

15. Sarkissyan Y.L. Approximations in Synthesis of Mechanisms / State Engineering University of Armenia Proceedings, series "Mechanics, Machine Science, Machine-building", Issue 15, #2, 2012, pp. 9–21.

16. Wang D. Kinematic Differential Geometry and Saddle Synthesis of Linkages / Wang D.,Wang W. – John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 2015. – 484 p.

Рецензія/Peer review : 2.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кіницький Я.Т.

УДК 677.055.5-8:621.833.38

М.М. РУБАНКА
Київський національний університет технологій та дизайну

ПРИВІД КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ З ДВОПОТОЧНОЮ ЧЕРВ'ЯЧНОЮ ПЕРЕДАЧЕЮ ТА ВИБІР ЙОГО ПАРАМЕТРІВ

Ефективність роботи круглов'язальних машин залежить від досконалості їх механізмів, зокрема приводу. Надійність та довговічність роботи привода і круглов'язальної машини в цілому залежить від навантажень вузлів та передач привода. Оскільки більшість існуючих приводів в'язальних машин не дозволяє розподілити потужність, що передається механізму в'язання, запропоновано використовувати в складі привода двопоточну механічну передачу. В результаті виконаних досліджень розроблено нову конструкцію привода круглов'язальної машини з двопоточною черв'ячною передачею і обгінною муфтою та метод вибору його параметрів. Встановлено, що запропонований привід працездатний, надійний та ефективний в роботі. Використання такого приводу у складі круглов'язальної машини дозволяє підвищити надійність та довговічність роботи як самої машини, так і якість трикотажного полотна. Результати досліджень можуть бути використані при розробці нових моделей круглов'язальних машин.

Ключові слова: круглов'язальна машина, голковий циліндр, привід круглов'язальної машини, двопоточна черв'ячна передача, обгінна муфта.

M.M. RUBANKA
Kyiv National University of Technologies and Design

DRIVE OF A CIRCULAR KNITTING MACHINE WITH TWO-FLOW WORM GEAR AND SELECTION OF ITS PARAMETERS

The efficiency of the work of circular knitting machines depends on the perfection of their mechanisms, especially drive. Reliability and durability of the drive and circular knitting machine in all depends on the load of parts and gear drive. Since most existing drives of the knitting machines do not allow to distribute the power, transmitted to the knitting mechanisms, it is proposed to use two-flow mechanical gear as a part of the drive. As a result of the researches, it was developed the new construction of the drive of the circular knitting machine with two-flow worm gear and free-wheeling clutch, as well as was determined the method of selection of its parameters. It was found that the proposed drive was usable, reliable and effective in operation. The use of such drive as a part of circular knitting machine allows increasing the reliability and durability of the machine, as well as the quality of knitted fabric. The results of the research can be used in development of new types of circular knitting machines.

Key words: circular knitting machine, needle cylinder, drive of a circular knitting machine, two-flow worm gear, free-wheeling clutch.

Вступ

Перспективним напрямком підвищення ефективності роботи круглов'язальних машин, є удосконалення їх механізмів, зокрема привода. Дослідження [1, 2] показують, що продуктивність круглов'язальних машин та якість полотна суттєво залежать від надійності та довговічності роботи привода. Тому проблема підвищення ефективності роботи круглов'язальних машин шляхом удосконалення привода є однією із актуальних проблем легкого машинобудування. Для розв'язання цієї проблеми важливим є розробка нових конструкцій приводів круглов'язальних машин та методу вибору їх параметрів.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом досліджень обрано привід круглов'язальної машини з двопоточною черв'ячною передачею та метод вибору його параметрів. При вирішенні поставлених задач були використані сучасні методи теорії проектування машин і апаратів легкої промисловості та теорії деталей машин.

Постановка завдання

Враховуючи актуальність питання підвищення ефективності роботи круглов'язальних машин (підвищення продуктивності та якості виробів), стаття присвячена розробці нової конструкції привода з двопоточною черв'ячною передачею та методу вибору його робочих параметрів.

Результати та їх обговорення

Відомий привід круглов'язальної машини, що містить з'єднані між собою електродвигун, черв'ячну передачу та механізми машини (Пат. України на корисну модель № 74723, МПК D04 B 15/94, 2006 р.). Наявність одного черв'яка, кінематично з'єднаного з черв'ячним колесом, з'єднаним з механізмами круглов'язальної машини, призводить до появи значних неврівноважених радіальних навантажень, що діють на голковий циліндр. Так, для круглов'язальних машин типу КО ці навантаження зумовлюють тиск на опори голкового циліндру, що перевищує 1700 Н, що знижує надійність та довговічність роботи привода.

В основу досліджень автора покладена задача створити такий привід круглов'язальної машини, в якому шляхом введення нових елементів та їх зв'язків, забезпечилось би підвищення довговічності роботи привода.

Поставлена задача вирішена тим, що привід круглов'язальної машини додатково обладнаний додатковим електродвигуном та додатковим черв'яком, кінематично з'єднаним з черв'ячним колесом, причому додатковий черв'як встановлено діаметрально протилежно відносно черв'яка.

Додаткове обладнання привода круглов'язальної машини додатковим електродвигуном та

додатковим черв'яком призводить до взаємної компенсації навантажень на механізми, зумовлені силами, що виникають в зачепленнях черв'яка та додаткового черв'яка з черв'ячним колесом, що, в свою чергу, забезпечує підвищення надійності та довговічності роботи привода круглов'язальної машини.

Запропонований привід круглов'язальної машини (рис. 1) містить електродвигун 1, за допомогою муфти 2 з'єднаний з черв'яком 3, додатковий електродвигун 4, за допомогою муфти 5 з'єднаний з додатковим черв'яком 6, причому черв'як 3 та додатковий черв'як 6 встановлені діаметрально протилежно один одному та кінематично зв'язані з черв'ячним колесом 7, яке за допомогою обгінної муфти 8 з'єднане з механізмом в'язання 9, та два водила 10, 11, які з'єднують механізм в'язання 9 з механізмом товароприйому 12. Обгінна муфта 8 містить дві обойми – внутрішню 13, жорстко з'єднану з механізмом в'язання 9, і зовнішню 14, жорстко з'єднану з черв'ячним колесом 7, та ролики 15, розташовані між внутрішньою 13 та зовнішньою 14 обоймами. Обгінна муфта 8 дозволяє розірвати зв'язок черв'ячного колеса 7 з механізмом в'язання 9 при використанні ручного привода (на рис. 1 не показаний) під час наладки та заправки машини.

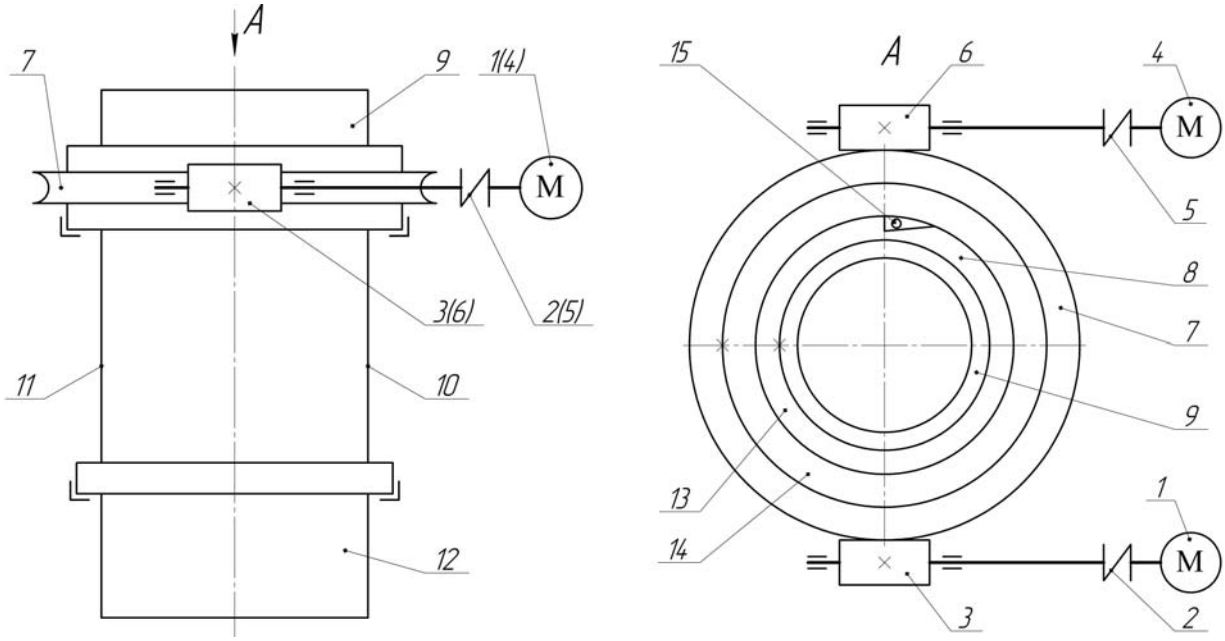


Рис. 1. Кінематична схема привода круглов'язальної машини

Принцип роботи привода наступний. При одночасному вмиканні електродвигуна 1 та додаткового електродвигуна 4 (електродвигуни для забезпечення працездатності привода повинні обертатися в різні боки) обертальний рух їх валів за допомогою муфт 2, 5 передається черв'яку 3 та додатковому черв'яку 6 відповідно. Обертальний рух черв'яків передається черв'ячному колесу 7, жорстко з'єднаному з зовнішньою обоймою 14 обгінної муфти 8. Поворот зовнішньої обойми 14 призводить до заклинювання роликів 15 між зовнішньою 14 та внутрішньою 13 обоймами муфти, що забезпечує зв'язок черв'ячного колеса 7 з механізмом в'язання 9 та його обертання. Оскільки механізм в'язання 9 за допомогою двох водил 10, 11 зв'язаний з механізмом товароприйому 12, останній також починає, синхронно з механізмом в'язання 9, обертатися, що необхідно для роботи круглов'язальної машини. Сили, що виникають в зачепленнях черв'яків 3, 6 з черв'ячним колесом 7, взаємно урівноважуються і, таким чином, не викликають додаткових радіальних навантажень на механізми круглов'язальної машини.

При обертанні круглов'язальної машини за допомогою ручного привода, що необхідно для наладки машини та її заправки, обертальний рух механізму в'язання 9 передається жорстко з'єднаній з ним внутрішній обоймі 13. Поворот внутрішньої обойми 13 призводить до розклинювання обойм і, таким чином, до розриву з'єднання механізму в'язання з черв'ячним колесом. Черв'яки, муфти та електродвигуни автоматично відключаються від механізмів в'язання та товароприйому, що знижує зусилля, необхідне для повороту машини в процесі наладки та заправки.

Враховуючи особливості черв'ячної передачі привода (черв'ячне колесо встановлене на зовнішній обоймі обгінної муфти та жорстко прикріплено до неї) її розрахунок зводиться до перевірки черв'ячних пар на контактну витривалість та на витривалість зубів черв'ячного колеса на згин. При цьому доцільно використовувати наступні залежності [3]:

$$\sigma_H = \frac{0{,}5}{\frac{z_2}{q}} \sqrt{\left(\frac{\frac{z_2}{q}+1}{a} \right)^3 T_2 K_H E_{np}} \le [\sigma_H]; \qquad (1)$$

$$\sigma_F = \frac{1{,}55 T_2 K_F K_{F\partial} Y_F \cos\lambda}{d_1 d_2 m} \le [\sigma_F], \qquad (2)$$

де σ_H, $[\sigma_H]$ - відповідно діюче максимальне та допустиме контактне напруження в зоні взаємодії черв'яка з зубами черв'ячного колеса;

z_2 - число зубів черв'ячного колеса;

q - число модулів у ділильному колі черв'яка;

a - міжосьова відстань черв'ячної передачі, $a = 05(d_1 + d_2)$;

d_1, d_2 - діаметри ділильного кола черв'яка та черв'ячного колеса відповідно;

T_2 - крутний момент черв'ячного колеса, зумовлений передачею потужності одним черв'яком;

K_H - коефіцієнт навантаження черв'ячного зачеплення, $K_H = K_{H\beta} K_{Hv}$;

E_{np} - приведений модуль пружності матеріалів черв'яка E_1 і колеса E_2, $E_{np} = \frac{2E_1E_2}{E_1 + E_2}$;

σ_F, $[\sigma_F]$ - відповідно діюче максимальне та допустиме напруження згину зубів черв'ячного колеса;

K_F - коефіцієнт навантаження передачі при згині, $K_F = K_{F\beta} K_{Fv}$;

$K_{F\partial}$ - коефіцієнт довговічності передачі (вибирається за таблицями);

Y_F - коефіцієнт форми зуба (вибирається за числом зубів еквівалентного зачеплення $z_e = \frac{z_2}{\cos^3\lambda}$);

λ - кут нахилу витка різьби черв'яка, $\lambda = arctg\frac{z_1}{q}$;

z_1 - число заходів черв'яка;

m - модуль черв'ячного зачеплення

Використовуючи одержану методику та рекомендації [3, 4], знайдемо робочі параметри приводу однофонтурної круглов'язальної машини КО-2, для якої [5] діаметр голкового циліндра $d_ц = 450$ мм; лінійна швидкість голкового циліндра $v_ц = 1{,}1$ м/с; частота обертання голкового циліндра $n_ц = 46{,}7$ об/хв.; потужність електродвигуна $P = 2{,}2$ кВт; частота обертання ротора електродвигуна $n_{дв} = 950$ об/хв (ω_1 = 99,48 рад/с); передаточне число привода (черв'ячної передачі) $u = \frac{n_{дв}}{n_ц} = \frac{950}{46{,}7} = 20{,}3$; крутний момент черв'ячного колеса, зумовлений передачею потужності одним черв'яком $T_2 = \frac{T}{2\psi} = \frac{359{,}15}{2 \cdot 0{,}75} = 239{,}4$ Нм (T - сумарний крутний момент черв'ячного колеса $T = \frac{P}{\omega_1} u\eta = \frac{2{,}2 \cdot 10^3}{99{,}48} \cdot 20{,}3 \cdot 0{,}8 = 359{,}15$ Нм; η - ККД черв'ячної передачі, $\eta = 0{,}8$; 2 – коефіцієнт, що враховує наявність двох черв'яків; ψ - коефіцієнт, що враховує можливу нерівномірність передачі потужності черв'яками, $\psi = 0{,}75$); параметри черв'ячної передачі (вибрані конструктивно з урахуванням особливостей привода круглов'язальної машини): $z_1 = 3$; $z_2 = z_1 u = 3 \cdot 20{,}3 = 61$; $q = 8$; $m = 10$ мм; $d_1 = mq = 10 \cdot 8 = 80$ мм; $d_2 = mz_2 = 10 \cdot 61 = 610$ мм; $a = 05(d_1 + d_2) = 0{,}5(80 + 610) = 345$ мм; $[\sigma_H] = 160$ МПа; $[\sigma_F] = 115$ МПа; $\lambda = arctg\frac{z_1}{q} = arctg\frac{3}{8} = 20{,}55^0$; $K_H = 1{,}2$; $K_F = 1{,}2$; $K_{F\partial} = 0{,}65$; $z_e = 74$; $Y_F = 1{,}36$; $E_1 = 2{,}07 \cdot 10^5$ МПа (Сталь 20Х); $E_2 = 1{,}12 \cdot 10^5$ МПа (Бр. АЖ 9-4Л); $E_{np} = 1{,}45 \cdot 10^5$ МПа.

Підставивши вихідні дані в (1), (2), маємо: $\sigma_H = 52{,}92 \le [\sigma_H] = 160$ МПа; $\sigma_F = 0{,}75 \le [\sigma_F] = 115$ МПа.

Як видно із розрахунків, умови працездатності черв'ячної передачі з запропонованими параметрами виконуються.

При виборі параметрів обгінної муфти слід виходити з того, що в силу специфіки її конструкції внутрішня обойма розташована навколо голкового циліндра круглов'язальної машини:

$$D_1 = d_ц = 450 \text{ мм}, \qquad (3)$$

де D_1 - внутрішній діаметр внутрішньої обойми обгінної муфти.

Виходячи з цього, діаметри обойм муфти доцільно призначати із залежностей:

$$D_2 = D_1 + 2d_p + (20...40)\text{мм}; \qquad D_3 = D_2 + (40...60)\text{ мм}, \tag{4}$$

де D_2 - зовнішній діаметр внутрішньої обойми (внутрішній діаметр зовнішньої обойми) муфти;

d_p - діаметр ролика обгінної муфти, $d_p = (8...12)$мм; приймаємо $d_p = 10$ мм;

D_3 - зовнішній діаметр зовнішньої обойми.

Необхідний кут заклинювання роликів $\alpha_з$ знаходиться із умови [4]:

$$\alpha_з \le arctg(f_1 + f_2) = arctg(0{,}15 + 0{,}05) = 5{,}71^0, \tag{5}$$

де f_1 - коефіцієнт тертя ковзання, $f = 0{,}15$ (сталь по сталі при обмеженому змащенні);

f_2 - коефіцієнт тертя кочення, $f_2 = 0{,}05$.

Довжина роликів l знаходиться із умови контактної витривалості пари ролик-внутрішня обойма [4]:

$$l \ge \frac{0{,}418^2 F E}{[\sigma_{H1}]^2 r_{np}}, \tag{6}$$

де F - сила тиску в парі ролик-внутрішня обойма,

$$F = \frac{2T}{z(D_1 - d_p) sin\alpha_з} = \frac{2 \cdot 359{,}15 \cdot 10^3}{20(450-10) sin 5{,}71^0} = 820 \text{ Н};$$

z - кількість роликів, приймаємо із конструктивних міркувань $z = 20$;

E - приведений модуль пружності матеріалів обойм муфти (сталь) $E = 2{,}15 \cdot 10^5$ МПа;

$[\sigma_{H1}]$ - допустиме контактне напруження матеріалу внутрішньої обойми муфти, $[\sigma_{H1}] = 1200$ МПа;

r_{np} - приведений радіус пари ролик-опорна площадка внутрішньої обойми, $r_{np} = 0{,}5 d_p = 0{,}5 \cdot 10 = 5$ мм.

Підставляючи вище приведені результати в (6), знаходимо: $l \ge 4{,}3$ мм, приймаємо $l = 10$ мм.

Використовуючи залежності (4), знаходимо діаметри обойм муфти: $D_2 = 500$ мм; $D_3 = 550$ мм.

Висновки

Аналізуючи результати досліджень, можемо зробити наступні висновки:

- конструкція запропонованого привода круглов'язальної машини з двопоточною черв'ячною передачею, працездатна, надійна та ефективна в роботі;
- використання запропонованого привода у складі круглов'язальної машини дозволяє підвищити надійність та довговічність роботи як самого привода, так і якість трикотажного полотна;
- запропонований привід та метод вибору його параметрів може бути використана не тільки для однофонтурних круглов'язальних, а і для інших типів круглов'язальних машин.

Література

1. Піпа Б.Ф. Приводи круглов'язальних машин (нові розробки та елементи розрахунку) / Б.Ф. Піпа, О.М. Хомяк, А.І. Марченко. – К. : КНУТД, 2007. – 400 с.

2. Чабан В.В. Приводи в'язальних машин / В.В. Чабан, Б.Ф. Піпа, О.В. Чабан. – К. : КНУТД, 2016. – 452 с.

3. Піпа Б.Ф. Деталі машин : підручник / Б.Ф. Піпа, О.М. Хомяк, А.І. Марченко. – К. : КНУТД, 2011. – 358 с.

4. Поляков В.С. Справочник по муфтам / В.С. Поляков, И.Д. Барабаш, О.А. Ряховский. – 2-е изд. – Л. : Машиностроение, 1979. – 351 с.

5. Машины кругловязальные типа КО-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Черновцы, 1992. – 86 с.

Рецензія/Peer review : 7.2.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Бурмістенков О.П.

УДК 677.055

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

ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ ГАЛЬМУВАННЯ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ТА ВИБІР ЇЇ ПАРАМЕТРІВ

Розробка методу оцінки впливу конструкції системи гальмування круглов'язальної машини на ефективність роботи та вибір її параметрів. В статті використані сучасні методи досліджень процесу гальмування в'язальних машин з метою оцінки впливу конструкції системи гальмування круглов'язальної машини на ефективність роботи, вибір її параметрів та на якість трикотажного полотна. Розроблено метод оцінки впливу конструкції системи гальмування круглов'язальної машини на ефективність роботи та вибір її параметрів. Встановлено необхідність оснащення привода круглов'язальних машин ефективною системою гальмування, здатною створювати гальмівний момент, що запобігає в'язанню неякісного трикотажного полотна. При цьому систему гальмування доцільно оснастити як мінімум двома гальмами. Розроблено метод, що дозволяє вибрати раціональні параметри системи гальмування (величина гальмівного моменту гальм та їх розподіл між собою). Результати досліджень можуть бути використані при удосконаленні діючих та при розробці нових типів систем гальмування як круглов'язальних, так і інших типів в'язальних машин. Розроблено метод оцінки впливу конструкції системи гальмування круглов'язальної машини на ефективність роботи та вибір її параметрів, здатних підвищити якість в'язання трикотажного полотна. Запропоновано інженерний метод удосконалення систем гальмування круглов'язальних машин та вибір раціональних параметрів систем гальмування, що містять декілька гальм.

Ключові слова: *круглов'язальна машина, привід круглов'язальної машини, система гальмування круглов'язальної машини, параметри системи гальмування круглов'язальної машини.*

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

EFFECT OF BRAKING SYSTEM DESIGN FOR EFFICIENCY CIRCULAR KNITTING MACHINES WORK AND CHOICE OF ITS PARAMETERS

Development of method for assessing the impact of the design of braking system circular knitting machines on the performance and the choice of its parameters. The use of modern methods of research the braking process of knitting machines in order to assess the impact of the design of braking systems on the circular knitting machine efficiency, the choice of its parameters and the quality of the knitted fabric. A method for assessing the impact of the design of braking system circular knitting machines on the efficiency and range of its parameters. The necessity of equipping circular knitting machines drive effective braking system that can create a braking torque to prevent low-quality knitting knitted fabric. In this case, the braking system it is advisable to equip at least two brakes. A method to select the optimal parameters of the braking system (the value of the braking torque of brakes and their distribution among themselves). The research results can be used to improve existing and develop new types of braking systems such as circular and other types of knitting machines. A method for assessing the impact of the design of braking system circular knitting machines on the performance and the choice of its parameters, can improve quality of knitting a knitted fabric. An engineering method for improving braking systems circular knitting machine and a choice of rational parameters of braking systems that contain multiple brakes.

Key words: *knitting machine, circular knitting machine drive, braking the circular machine, the parameters of the braking system of the circular machine.*

Вступ

З метою забезпечення в'язання якісного трикотажного полотна круглов'язальні машини, як показує аналіз [1–4], повинні бути обладнані ефективними системами гальмування. При цьому система гальмування повинна забезпечувати в'язання якісного трикотажного полотна та не допускати значних динамічних навантажень механізмів круглов'язальної машини, що виникають під час гальмування [2, 5, 6]. Виходячи з цього, проблема розробки нових та удосконалення діючих систем гальмування круглов'язальних машин є актуальною [2, 4].

Постановка завдання. Враховуючи актуальність питання підвищення ефективності роботи круглов'язальних машин за рахунок удосконалення систем гальмування [4], завданням досліджень є аналіз впливу конструкції системи гальмування на ефективність її роботи та розробка методу вибору її раціональних параметрів.

Результати дослідження. Аналіз конструкцій круглов'язальних машин [1, 3, 4] показує, що з метою підвищення ефективності роботи систем гальмування існують в основному два рішення: оснащення привода машин пристроєм, здатним в період гальмування відключати частину обертальних мас від основних механізмів [5, 6, 8–10]; оснащення системи гальмування круглов'язальної машині декількома гальмами [2].

Автори пропонують комплексне рішення проблеми підвищення ефективності системи гальмування круглов'язальних машин – оснащення привода машини пристроєм відключення в період гальмування основних обертальних мас від привода та оснащення круглов'язальної машини двома гальмами.

Кінематична схема привода круглов'язальної машин з удосконаленою системою гальмування представлена на рис. 1.

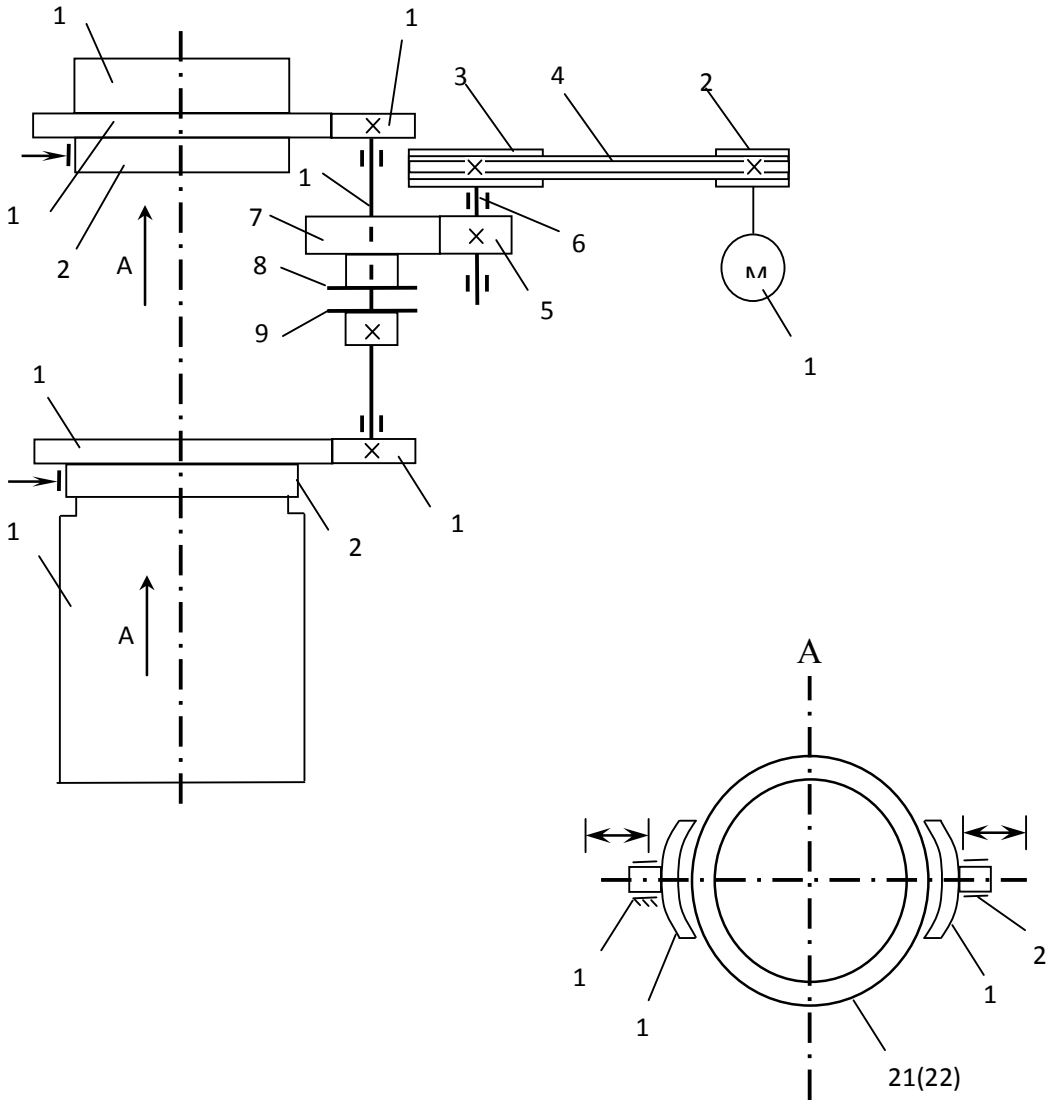


Рис. 1. Кінематична схема привода круглов'язальної машини з удосконаленою системою гальмування: 1 – електродвигун; 2 – ведучий шків клинопасової передачі; 3 – ведений шків; 4 – клинові паси; 5 – шестерня; 6 – проміжний вал; 7 – зубчасте колесо; 8, 9 – півмуфти зчіпної муфти; 10 – вертикальний приводний вал; 11, 12 – верхня та нижня шестерні; 13 – верхнє зубчасте колесо; 14 – голковий циліндр; 15 – нижнє зубчасте колесо; 16 – механізм товароприйому; 17, 18 – колодки гальм; 19, 20 – направляючі колодок; 21, 22 – гальмівні шківи (гладкі циліндричні частини верхнього за нижнього зубчастих коліс)

Принцип роботи привода такий. Електрична схема управління привода (на рис 1 не показана) виконана таким чином, що при включенні електродвигуна зчіпна муфта вмикається, а колодки гальм *17, 18* вимикаються і навпаки - при вимиканні електродвигуна (зупинці машини) муфта вимикається, а гальма вмикаються. При вмиканні електродвигуна 1 обертальний рух його вала передається ведучому шківу *2,* який за допомогою клинових пасів *4* приводить в обертальний рух шків *3* і жорстко з'єднані з ним проміжний вал *6* та шестерню *5* зубчастої передачі. Обертальний рух шестерні *5* передається зубчастому колесу *7*, півмуфтам *8, 9* і вертикальному приводному валу *10* з шестернями *11, 12*, рух яких за допомогою зубчастих коліс *13, 15* передається голковому циліндру 1*4* та механізму товароприйому *16,* що необхідно для роботи круглов'язальної машини - в'язання трикотажного полотна.

При зупинці машини (вимикається електродвигун і зчіпна муфта, вмикаються гальма) основна інерційна маса привода - ротор електродвигуна *1*, клинопасова передача *2-4*, зубчаста передача *5, 7* і півмуфта *8* в результаті вимикання зчіпної муфти відокремлюються від вертикального приводного вала *10,* що скорочує час гальмування голкового циліндру (необхідна умова для запобігання появи бракованого полотна). Одночасно з вмиканням гальм їх колодки *17, 18* переміщуються в напрямних *19, 20* і притискуються до циліндричної поверхні нижньої частини *21* зубчастого колеса *13* голкового циліндра *14* і циліндричної поверхні нижньої частини *22* зубчастого колеса *15* механізму товароприйому *16,* гальмуючи їх. Зусилля, що виникають при цьому в діаметрально протилежно розташованих зонах притискання робочих елементів *17,18* гальма до зубчастих коліс *13,15*, взаємно урівноважуються, що ліквідує радіальне навантаження на голковий циліндр *14* і механізм товароприйому *16*. Одночасне гальмування голкового

циліндру і механізму товароприйому ліквідує вільне коливання мас привода, що зменшує динамічні навантаження в ньому.

Розподіл моментів гальмування T_{T1} і T_{T2} між гальмами *17, 18* (рис. 1) запропонованої системи гальмування доцільно здійснити, виходячи з наступного. Оптимальним режимом гальмування круглов'язальної машини, обладнаної запропонованою системою гальмування, є такий режим, при якому обидві обертальні маси J_1 і J_2 (рис. 2) зупиняться одночасно.

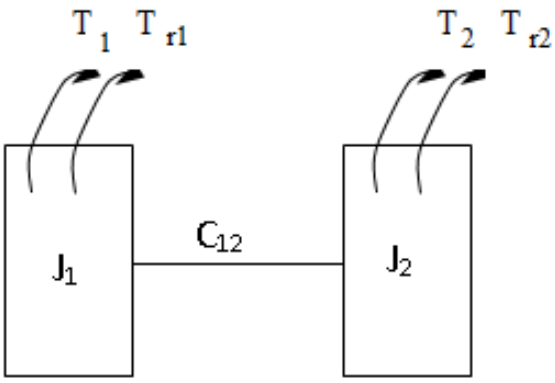


Рис. 2. Динмічна модель круглов'язальної машини типу КО з приводом з системою гальмування з двома гальмами: I_1, I_2 - приведені моменти інерції обертальних мас механізмів в'язання та товароприйому; C_{12} - приведена жорсткість пружної в'язі (жорсткість вертикального приводного вала привода); T_1, T_2 - приведені моменти сил опору механізмів в'язання та товароприйому; T_{T1}, T_{T2} - приведені моменти гальмування гальм механізмів в'язання та товароприйому

Дослідження [2] показують, що такій вимозі задовольняє умова:

$$\frac{J_1}{T_{T1}+T_1}=\frac{J_2}{T_{T1}+T_2}. \tag{1}$$

Рівняння (1) запишемо у вигляді:

$$J_2T_{T1}-J_1T_{T2}=J_1T_2-J_2T_1. \tag{2}$$

Час гальмування круглов'язальної машини t_T і відповідно механізму в'язання t_{T1} та товароприйомного механізму t_{T2} при цьому знаходиться із рівняння:

$$t_T=t_{T1}=t_{T2}=\frac{(J_1+J_2)\omega}{T_{T1}+T_{T2}+T_1+T_2}, \tag{3}$$

яке представимо у вигляді:

$$t_TT_{T1}+t_TT_{T2}=J\omega-Tt_{T2}, \tag{4}$$

$$J=J_1+J_2;\ T=T_1+T_2;$$

де ω - кутова швидкість вала приведення параметрів системи.

Рівняння (2), (4) представляють собою систему рівнянь з двома невідомими T_{T1} і T_{T2}, розв'язок яких знаходимо у вигляді [7]:

$$T_{T1}=\frac{\Delta 1}{\Delta};\qquad T_{T2}=\frac{\Delta 2}{\Delta}, \tag{5}$$

де

$$\Delta=\begin{vmatrix} J_2 & -J_1 \\ t_T & t_T \end{vmatrix}=J_2t_T+J_1t_T=Jt_T; \tag{6}$$

$$\Delta_1=\begin{vmatrix} J_1T_2 & -J_2T_1 & -J_1 \\ J\omega & -Tt_T & t_T \end{vmatrix}=(J_1T_2-J_2T_1)t_T+J_1(J\omega-Tt_T); \tag{7}$$

$$\Delta_2=\begin{vmatrix} J_2 & J_1T_2 & -J_2T_1 \\ t_T & J\omega & -Tt_T \end{vmatrix}=J_2(J\omega-Tt_T)-(J_1T_2-J_2T_1)$$

Після підстановки (6)–(8) в рівняння (5) знаходимо:

$$t_{T1}=\frac{(J_1T_2-J_2T_1)t_T+J_1(J\omega-Tt_T)}{Jt_T}, \tag{9}$$

$$t_{T2} = \frac{J_2\left(J\omega - Tt_T\right) - \left(J_1T_2 - J_2T_1\right)t_T}{Jt_T}. \quad (10)$$

При використанні запропонованої системи гальмування в круглов'язальній машині КО-2 з діаметром голкового циліндра $d_ц = 450$ і лінійній його швидкості $V_ц = 1{,}1$ м/с [1], для якої $J_1 = 0{,}021$ кгм^2; $J_2 = 0{,}026$ кгм^2; $T_1 = 17{,}7$ Нм; $T_2 = 4{,}4$ Нм [2] (вал приведення параметрів - вал електродвигуна, кутова швидкість якого ω = 99,48 с$^{-1}$), враховуючи умову (3) та прийнявши $t_T = t_{T1} = t_{T2} = 0{,}09$ с [2], знаходимо приведені величини моментів гальм:

$$T_{T1} = 5{,}512 \text{ Нм}; \quad T_{T2} = 24{,}338 \text{ Нм}.$$

Дійсні величини моментів гальмування $T_Ц$ для гальма механізму в'язання (голкового циліндра) і T_M для гальма механізму товароприйому знаходяться із умов:

$$T_Ц = \frac{T_{T1}u}{\eta}; \quad T_M = \frac{T_{T2}u}{\eta}, \quad (11)$$

де u - передаточне число передач привода;

η - коефіцієнт корисної дії передач привода.

Для нашого випадку, коли $u = 20{,}34$, $\eta = 0{,}866$ [1], маємо:

$$T_Ц = 129{,}46 \text{ Нм}; \quad T_M = 571{,}63 \text{ Нм}.$$

При таких параметрах система гальмування круглов'язальної машини КО-2, як показує аналіз, буде ефективною та надійною в роботі.

Висновки

В результаті виконаних досліджень:

- розроблено метод оцінки впливу конструкції системи гальмування круглов'язальної машини на ефективність її роботи та метод вибору її параметрів;
- встановлена необхідність оснащення привода круглов'язальних машин ефективною системою гальмування, здатною створювати гальмівний момент, що запобігає в'язанню неякісного трикотажного полотна;
- встановлено, що з метою підвищення ефективності роботи системи гальмування круглов'язальної машини її доцільно оснастити як мінімум двома гальмами;
- результати досліджень можуть бути використані при удосконаленні діючих та при розробці нових типів систем гальмування як круглов'язальних, так й інших типів в'язальних машин.

Література

1. Машины кругловязальные типа КО-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Черновцы, 1992. – 86 с.

2. Піпа Б. Ф. Динаміка круглов'язальних машин / Б.Ф. Піпа, О.М. Хомяк, Г.І. Павленко. – К. : КНУТД. – 2005. – 294 с.

3. Піпа Б.Ф. Приводи круглов'язальних машин / Б.Ф. Піпа, О.М. Хомяк, А.І. Марченко. – К. : КНУТД. – 2007. – 400 с.

4. 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.

5. Здоренко В.Г. Зниження динамічних навантажень в приводі в'язальних машин / В.Г. Здоренко, Н.М. Защепкіна // Вісник КНУТД. – 2015. – № 6 (92). – С. 47–51.

6. Здоренко В.Г., Защепкіна Н.М. 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.

7. Бронштейн И.Н. Справочник по математике / Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. – М. : Наука, 1980. – 976 с.

8. Защепкіна Н.М. Підвищення стабільності відтяжки полотна круглов'язальної машини / Н.М. Защепкіна, Б.Ф. Піпа // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 3. – С. 84–86.

9. Здоренко В.Г. Підвищення ефективності роботи механізму накатування полотна круглов'язальної машини / В.Г. Здоренко, О.Ю. Олійник, Б.Ф. Піпа //Вісник КНУТД. – 2014. – № 1 (75). – С. 30–35.

10. Здоренко В.Г. Аналіз впливу тертя кочення пари накатний валик-рулон на процес накатування круглов'язального полотна / В.Г. Здоренко, О.Ю. Олійник, Б.Ф. Піпа // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2014. – № 2 (49). – С. 68–72.

Рецензія/Peer review : 15.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н. Місяць В.П.

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 574.64:675.088

А.В. НІКОНОВА, О.А. АНДРЕЄВА
Київський національний університет технологій та дизайну
Л.А. САБЛІЙ
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

ПОРІВНЯЛЬНА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ ХРОМОВОГО І ТИТАНОВОГО ДУБЛЕННЯ

Наведено результати екологічної оцінки технологій хромового і титанового дублення, які відрізняються тим, що у нових технологіях традиційне пікелювання замінено на обробку дерми сучасними нетоксичними полімерними сполуками. При порівнянні розроблених технологій з відомими виявлено покращення якісних та кількісних показників відпрацьованих дубильних розчинів у разі використання полімерних сполук. В результаті біотестування встановлено, що найменший токсичний вплив на водне середовище відбувається при титанполімерному дубленні.

Ключові слова: шкіряне виробництво, дублення, відпрацьовані розчини, показники, біотестування.

A.V. NIKONOVA, O.A. ANDREYEVA
Kyiv National University of Technologies and Design
L.A. SABLIY
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT TECHNOLOGIES OF CHROME AND TITANIUM TANNING

The results of the ecological assessment of the technologies of chrome and titanium tanning are given, which are distinguished by the fact that in the new technologies traditional pickling process has been replaced on treatment of derma with modern non-toxic polymeric compounds. When comparing the developed technologies with known ones, improvement of qualitative and quantitative indices of waste tanned solutions with the use of polymeric compounds was revealed. As a result of bio-testing it was established that the lowest toxic effect on the water environment occurs with titanium-polymeric tanning.

Keywords: leather production, tanning, waste solutions, indices, bio-testing.

Вступ

У сучасному світі все більша увага надається охороні навколишнього середовища. Це, у свою чергу, посилює вимоги до екологічної чистоти промислових виробництв, отже, до необхідності зменшення кількості токсичних речовин у техногенних стоках [1]. Традиційно промислові стоки шкіряного виробництва відносять до джерел значного забруднення природних водойм. Вплив шкіряного виробництва на навколишнє середовище пов'язаний, насамперед, з великим споживанням води та специфічним складом стічних вод, що відносяться до категорії сильно забруднених, концентрованих і токсичних. Особливо небезпечний склад стоків після процесу хромового дублення, оскільки відпрацьовані розчини є концентрованими, складними багатокомпонентними системами, що містять токсичні сполуки хрому (III), жири, продукти модифікації протеїнів, органічні та синтетичні речовини різних класів, розчинені мінеральні сполуки тощо. Надходження таких стоків до водних об'єктів згубно діє на живі організми, викликаючи незворотні процеси руйнування сформованої природної екосистеми [2, 3]. Численні дослідження й практичні розробки в області екології свідчать про те, що будівництвом очисних споруд неможливо повністю вирішити проблему забруднення природних водойм. Методи регенерації відпрацьованих дубильних розчинів, що досі застосовуються на практиці, або вимагають істотних витрат реагентів та енергії, або малоефективні. Тому рішенням проблеми екологізації процесу дублення є розробка та впровадження ресурсоощадних технологій з використанням більш екологічно безпечних матеріалів, які дозволяють частково замінити або навіть виключити сполуки хрому (III) [4, 5].

Постановка завдання

Перспективними матеріалами для ефективного виконання процесу дублення являються полімерні сполуки нового покоління, здатні взаємодіяти з колагеном та іншими застосованими реагентами з утворенням зв'язків різного типу, що дозволяє збільшити дифузію та зв'язування дубильних сполук у структурі дерми [1, 6, 7]. З урахуванням викладеного, на кафедрі біотехнології шкіри та хутра КНУТД розроблено дві ресурсоощадні технології виробництва овечої одягової шкіри з використанням сучасних нетоксичних полімерних сполук – похідних ненасичених карбонових кислот. Однією з цих технологій (хромполімерного дублення) передбачено зменшення витрати дубильних сполук хрому до 25 % шляхом заміни традиційного пікелювання на обробку полімером на основі акрилової кислоти [8]. Іншою технологією (титанполімерного дублення) у якості альтернативи сполук хрому запропоновано дубильні сполуки титану, здатні інтенсифікувати технологічний процеси та усувати проблему переробки хромвмісних

відходів. При цьому виконується безпікельне дублення сульфатотитанілатом амонію з підготовчою обробкою дерми полімером на основі малеїнової кислоти [9]. Експериментально доведено, що обидві технології значно скорочують тривалість процесу дублення, забезпечують більш повне поглинання дубителів з розчину, а шкіряний напівфабрикат і готові шкіри мають високі показники формування об'єму, споживчі та гігієнічні властивості, що сприяє більш раціональному використанню сировинних, матеріальних та енергетичних ресурсів.

Мета даної роботи – екологічна оцінка розроблених технологій. Для цього визначили найбільш важливі показники відпрацьованих розчинів після хром- і титанполімерного дублення шкіряного напівфабрикату одягової шкіри з овчини, провели їх біотестування. У якості контролю застосували відомі технології хромового і титанового дублення з пікельною підготовкою.

Об'єкти та методи дослідження

За об'єкт дослідження обрано різні технології дублення шкір, предмет – властивості відпрацьованих дубильних розчинів, одержаних за технологіями:

- *хромполімерного дублення*, що передбачає обробку похідною акрилової кислоти при витраті 1,0 % (у перерахунку на сухий залишок) з подальшим дубленням при витраті дубителя 1,2 % (у перерахунку на Cr_2O_3) при температурі 36-38 °С у новому розчині після попередньої обробки хлоридом натрію (витрата 5,0 %);
- *титанполімерного дублення*, що передбачає обробку похідною малеїнової кислоти при витраті 1,1 %, проведення процесу дублення сульфатотитанілатом амонію при витраті 3,8 % (у перерахунку на TiO_2) при температурі 36-38 °С у новому розчині, з попередньою обробкою хлоридом натрію при витраті 5,0 %;
- *хромпікельного дублення* за відомим способом, що полягає у проведенні процесу при витраті хромового дубителя 1,6 % (у перерахунку на Cr_2O_3) при температурі 20 °С у відпрацьованому пікельному розчині [10];
- *титанпікельного дублення*, що передбачає використання сульфатотитанілату амонію при витраті 5,0 % (у перерахунку на TiO_2) при температурі 20 °С у пікельному розчині [11].

Для дослідження відпрацьованих дубильних розчинів використали традиційні та сучасні фізико-хімічні методи аналізу стічних вод, за якими визначали їх якісні та кількісні показники [12, 13]. Оцінку токсичності досліджуваних розчинів здійснювали методом біотестування. Для цього застосували тест-культуру у вигляді гіллястовусих ракоподібних *Daphnia magna*, що обумовлено їх поширеністю у прісноводних водоймах та високою чутливістю до різних концентрацій токсичних речовин. Аналізовані розчини оцінювали за ступенем токсичності та гострою летальною концентрацією, спостерігаючи стан і виживання тест-культури при різному вмісті токсикантів протягом певного часу [14].

Біотестування проводили у лабораторних умовах на профільтрованих через сітчастий фільтр пробах для усунення механічних частинок. Для контролю та розведення використали відстояну протягом 7 діб водопровідну воду із загальною жорсткістю 10,5 мг-екв/л, pH близько 7,5, температурою 20±2 °С та вмістом кисню понад 6,0 мг/л.

У кожну з дослідних та контрольних тест-камер зі 100 мл досліджуваної проби вміщували по 10 тест-культур віком до 24 год. З метою визначення ступеня токсичності відпрацьованих розчинів тестували нерозведену та розведені проби при кратності розведення (*Кр*) 500, 1000, 5000, 10000. Підрахунок кількості живих дафній здійснювали візуально через 1, 6, 24, 48 та 96 год від початку досліду, а потім на підставі одержаних даних визначали середньоарифметичний відсоток виживання для трьох дослідів. Для розрахунку гострої летальної токсичності LD_{50} використали графоаналітичний метод та методи математичної статистики [15, 16].

Результати дослідження, їх обговорення

Порівняння характеристик відпрацьованих дубильних розчинів (табл. 1) дозволяє зробити висновок про те, що нові технології дублення порівняно з традиційними суттєво зменшують забруднення стічних вод за якісними та кількісними показниками. Так, хромполімерне дублення порівняно з хромпікельним забезпечує покращення показників вмісту сухого залишку і завислих речовин в 1,3, сполук хрому – в 2,0, сульфатів – в 1,5, хлоридів – в 1,2, біологічного споживання кисню ($БСК_5$) – в 2,0, хімічного споживання кисню (ХСК) − в 1,2 рази. Для титанполімерного дублення порівняно з титанпікельним виявлено зменшення вмісту сухого залишку в 1,5, сполук титану – в 2,0, сульфатів – в 3,0, хлоридів – в 1,2, амонійного азоту – в 1,6, $БСК_5$ – в 1,6, ХСК − в 6,2 рази. При співставленні цих технологій виявлено, що при попередній полімерній обробці дублення сполуками хрому порівняно зі сполуками титану сприяє зменшенню вмісту сухого залишку в 1,1, сульфатів – в 2,0, хлоридів – в 1,1, амонійного азоту – в 1,5 рази. Високий вміст сульфатів та амонійного азоту при використанні сполук титану обумовлений наявністю в них стабілізуючого реагенту – сульфату амонію [11]. Разом з тим, для відпрацьованого розчину після титанполімерного дублення спостерігається покращення показників ХСК і $БСК_5$ (на 90 та 78 % відповідно), що значно спрощує застосування біологічних методів очищення.

Таблиця 1

Характеристика відпрацьованих дубильних розчинів

Показник	Дублення			
	хромполімерне	хромпікельне	титанполімерне	титанпікельне
Колір	блідо-зелений	темно-зелений	безбарвний	білий
Прозорість, мм	160	75	173	41
Значення pH	4,15	3,85	4,10	3,70
Вміст сполук хрому (на Cr_2O_3), мг/л	2100	4250	–	–
Вміст сполук титану (на TiO_2), мг/л	–	–	1610	3220
Вміст сухого залишку, мг/л	68830	90620	76140	115180
Вміст завислих речовин, мг/л	44000	58000	38090	49500
Вміст хлоридів, мг/л	15920	19450	17700	21250
Вміст сульфатів, мг/л	6810	10200	13740	41210
Вміст загального азоту, мг/л	1110	1200	1160	1360
Вміст амонійного азоту, мг/л	400	420	610	990
Показник ХСК, мг О/л	6860	8150	660	4420
Показник $БСК_5$ (20 °С), мг О/л	2302	4725	503	846
Відношення ХСК/БСК	2,9	1,7	1,3	5,2

Результати біотестування хромвмісних розчинів (табл. 2) вказують на те, що у нерозведених розчинах як після хромполімерного, так і після хромпікельного дублення повна загибель дафній спостерігається менше, ніж за 48 та 24 год відповідно, тобто за ступенем токсичності такі розчини мають гостру летальну дію і є небезпечними для водойм. Це можна пояснити токсичністю сполук хрому та низьким значенням pH через наявність залишків сірчаної кислоти. При розведенні розчинів до *Кр*5000 відхилення від контролю показника середньоарифметичного % виживання тест-культури після 96 год для хромполімерного дублення знаходиться в межах 63,0-27,6, хромпікельного − 0-63,0 %. При розведенні хромполімерного розчину *Кр*10000, коли вміст сполук хрому у досліджуваній пробі становить 0,2 мг/л, спостерігається загальне уповільнення руху та замирання дафній, при цьому середньоарифметичний % їх виживання в 1,8 рази вище, ніж при такому ж розведенні хромпікельного розчину, оскільки вміст сполук хрому у цьому випадку становить 0,4 мг/л.

Таблиця 2

Виживання тест-культури Daphnia magna у відпрацьованих хромвмісних розчинах

Час, год	Середньоарифметичний % виживання у розчинах після										Контроль
	хромполімерного дублення					хромпікельного дублення					
	Кр0	*Кр500*	*Кр1000*	*Кр5000*	*Кр10000*	*Кр0*	*Кр500*	*Кр1000*	*Кр5000*	*Кр10000*	
1	70,0	80,0	96,7	100,0	100,0	46,7	73,3	93,3	96,7	100,0	100,0
6	53,3	96,7	93,3	100,0	100,0	13,3	33,3	70,0	93,3	100,0	100,0
24	46,7	60,0	73,3	96,7	100,0	0	0	40,0	60,0	90,0	100,0
48	0	50,0	67,7	73,3	100,0	0	0	0	40,0	83,3	100,0
96	0	33,3	40,0	70,0	96,7	0	0	0	33,3	53,3	96,7

З результатів біотестування відпрацьованих титанвмісних розчинів (табл. 3) випливає, що нерозведені розчини після титанполімерного дублення не викликають повну загибель дафній. Відсоток відхилення від контролю наприкінці тестування за показником виживання становить 65,5 %, що дозволяє віднести такі розчини до високотоксичних. Нерозведений розчин після титанпікельного дублення викликає майже повну загибель дафній після 48 год випробування, тому також є небезпечним для водойм. Стан дафній погіршується у розчинах титанполімерного дублення до кратності розведення *Кр5000*, при цьому відхилення від контролю знаходиться в межах 44,8-27,6 %. При розведенні розчинів після титанпікельного дублення до *Кр5000* відхилення показника виживання дафній від контролю знаходиться в межах 79,3-24,1 %, а при *Кр10000* смертність дафній відсутня. Слід зазначити значне погіршення стану дафній у відпрацьованих розчинах після титанпікельного дублення порівняно з розчинами після титанполімерного дублення.

Таблиця 3

Виживання тест-культури Daphnia magna у відпрацьованих титанвмісних розчинах

Час, год	Середньоарифметичний % виживання у розчинах після										Контроль
	титанполімерного дублення					титанпікельного дублення					
	Кр0	*Кр500*	*Кр1000*	*Кр5000*	*Кр10000*	*Кр0*	*Кр500*	*Кр1000*	*Кр5000*	*Кр10000*	
1	90,0	100,0	100,0	100,0	100,0	80,0	100	100	100	100,0	100,0
6	83,3	96,7	100,0	100,0	100,0	73,3	80,0	96,7	100	100,0	100,0
24	66,7	86,7	93,3	100,0	100,0	60,0	70,0	86,7	96,7	100,0	100,0
48	50,0	70,0	80,0	96,7	100,0	13,3	53,3	66,7	86,7	96,7	100,0
96	33,3	43,3	70,0	96,7	96,7	0	20,0	40,0	73,3	96,7	96,7

Для виявлення гранично допустимого рівня токсичності відпрацьованих дубильних розчинів додатково розрахували гостру летальну токсичність LD_{50}, критерієм якої є загибель понад 50 % дафній у дослідному розчині щодо контрольного при біотестуванні протягом 96 год. Встановлено мінімальну кратність розведення відпрацьованого хромполімерного розчину − понад 2500, що відповідає вмісту сполук хрому 0,8 мг/л; для хромпікельного розчину мінімальна кратність розведення – понад 10000, що відповідає вмісту сполук хрому 0,4 мг/л. Для відпрацьованого титанполімерного розчину мінімальна кратність розведення повинна бути не менше 800 (вміст сполук титану не більше 2,0 мг/л), для титанпікельного – не менше 2500 (вміст сполук титану не більше 1,3 мг/л).

При порівнянні токсичності відпрацьованих дубильних розчинів виявлено (рис. 1), що розчини після хром- і титанполімерного дублення мають меншу гостру летальну токсичність (концентрація токсикантів при LD_{50} становить 0,8 і 2,0 мг/л відповідно) порівняно з традиційними технологіями (концентрація токсикантів при LD_{50} 0,4 і 1,3 мг/л) дублення, які передбачають пікелювання. Можливо, це зумовлено взаємодією сполук хрому і титану із застосованими полімерами з утворенням менш токсичних компонентів.

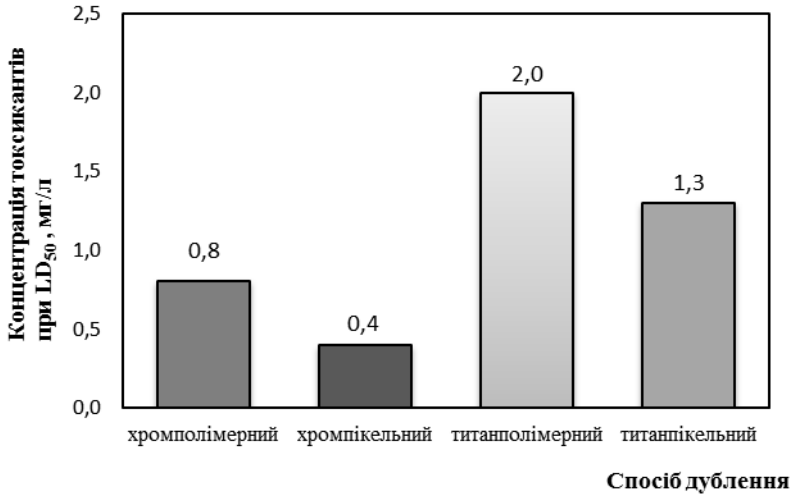


Рис. 1. Порівняльна оцінка гострої летальної токсичності відпрацьованих дубильних розчинів

Висновки

Для екологічної оцінки нових технологій хром- і титанполімерного дублення, за якими традиційну пікельну підготовку голини замінено на обробку полімерними сполуками – похідними ненасичених карбонових кислот, проаналізовано відпрацьовані дубильні розчини. Виявлено покращення якісних та кількісних показників при порівнянні цих технологій з відомими технологіями хром- і титанпікельного дублення. Встановлено зменшення вмісту сполук хрому в 2,0, сульфатів – в 1,5, хлоридів – в 1,2, $БСК_5$ – в 2,0, ХСК − в 1,2 рази для хромвмісних розчинів; вмісту сполук титану в 2,0, сульфатів – в 3,0, хлоридів – в 1,2, амонійного азоту – в 1,6, $БСК_5$ – в 1,6, ХСК − в 6,2 рази для титанвмісних розчинів. При порівнянні нових технологій суттєво покращуються показники споживання кисню для титанполімерного дублення: ХСК − на 90, $БСК_5$ – на 78 %. При оцінюванні токсичності всіх аналізованих розчинів методом біотестування встановлено, що найменш токсичний вплив на водне середовище має титанполімерне дублення.

Одержані результати являються важливим уточненням екологічної перспективи технологій хром- і титанполімерного дублення, підтвердженням доцільності їх впровадження у виробництво.

Література

1. Future Trends in the World Leather and Leather Products Industry and Trade // UNIDO. – Vienna – 2010. – 120 p.

2. Саблій Л. А. Очищення стічних вод шкіряних заводів [Електронний ресурс] / Л. А. Саблій // Технології та дизайн. – 2013. – № 4 (9). – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2013_4_11.

3. Герман Н. В. Получение и применение бактериального биопрепарата для очистки сточных вод кожевенного производства : автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. биол. наук : спец. 03.01.06 – Биотехнология (в том числе бионанотехнология) / Н. В. Герман. – Волгоград, 2016. – 17 с.

4. Maeda Y. Preliminary studies on treatment of chromium tannery wastes ludge by anaerobic digestion / Y. J. Maeda // Fermentation tech., 2014. – Vol. 62. – № 5. – P. 421.

5. Байжанова С. Б. К вопросу об экологической безопасности кожевенных производств / С. Б. Байжанова, А. К. Кудабаева, О. К. Джанахметов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2013. – № 6 (348). – С. 154–157.

6. Using of Hyperbranched Poly(amidoamine) as Pretanning Agent for Leather / Amal Amin Ibrahim, Moshera S. A. Youssef, El-Shahat H. A. Nashy, and Mohamed M. Eissa // International Journal of Polymer Science. – 2013. – P. 1–8. URL: http://dx.doi.org/10.1155/2013/120656

7. Nikonova A.V. Modern polymeric compounds application for improving production technologies of leather / A.V. Nikonova, O. A. Andreyeva, L. A. Maistrenko // Baltic Polymer Symposium : programmer and proceedings (Latvia, Sigulda, September 16–18, 2015). – Latvia, 2015 – P. 70.

8. Nikonova A. Application of advanced polymeric compounds for development of leather production [Електронний ресурс] / A. Nikonova, O. Andreyeva, L. Maistrenko // IOP Conf. Series: Materials and engineering. – 2016. – 111 (1). – P. 1-6. – Режим доступу : http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/111/1/012024?fromSearchPage=true

9. Ніконова А. В. Визначення оптимальних умов процесу титанового дублення в присутності полімерної сполуки на основі малеїнової кислоти / А. В. Ніконова, О. А. Андреєва, Л. А. Майстренко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – № 1 (233). – С. 196–201.

10. Данилкович А. Г. Технологія і матеріали виробництва шкіри / А. Г. Данилкович, О. Р. Мокроусова, О. А. Охмат ; під ред. А. Г. Данилковича. – К. : Фенікс, 2009. – 580 с.

11. Метелкин А. И. Титановое дубление / А. И. Метелкин, Н. Т. Русакова. − М. : Легк. индустрия, 1980. – 152 с.

12. Методика проведения технологического контроля работы очистных сооружений городских канализаций / под ред. О. Т. Болотиной. – М. : Стройиздат, 1971. – 231 с.

13. Справочник кожевника (Отделка. Контроль производства) / под ред. Н. А. Балберовой. – М. : Легпромбытиздат, 1987. –256 с.

14. Филенко О. Ф. Биологические методы и контроль качества окружающей среды / О. Ф. Филенко // Экологические системы и приборы. – 2007. – № 6. – С. 18–20.

15. Биоиндикация и биомониторинг / под ред. Д. А. Криволуцкий. – М. : Наука, 1991. – 288 с.

16. Визначення гострої летальної токсичності на Daphnia Magna Straus та Ceriodaphnia Affinis Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 6341:1996, MOD) : ДСТУ 4173.2003. – [Чинний від 2004-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 10 с. – (Національний стандарт України).

Рецензія/Peer review : 15.3.2017 р. Надрукована/Printed :18.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Панасюк І.В.

УДК 677.11.21:510.67

О.О. ГОРАЧ, Л.А. ЧУРСІНА
Херсонський національний технічний університет

ПЕРЕРОБКА СТЕБЕЛ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО В ТЕХНІЧНИЙ ТЕКСТИЛЬ НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Визначено технологічний ланцюг обладнання для переробки стебел соломи льону олійного в технічний текстиль. Запропоновано сучасну технологічну лінію виділення та очищення волокна з трести льону олійного. Представлено опис обладнання льонозаводу з переробки стебел льону олійного. На основі проведених досліджень сучасних технологій з одержання короткого лляного волокна, запропонована нова функціональна лінія переробки трести льону олійного. Проведено розрахунки та надано опис технологічної лінії. Зазначено, що одержане волокно можна застосовувати для виготовлення екологічно чистих утеплювачів замість скловолокна, санітарно-гігієнічних виробів, нетканих і композиційних матеріалів, тобто для виробів технічного призначення, а костриця в якості мульчі та палива.

Ключові слова: льонозавод, льон олійний, переробка лляної трести, технологічна лінія, волокно, технічний текстиль.

O.O. GORACH, L.A. CHURSINA
Kherson National Technical University

PROCESSING STEMS OIL FLAX IN TECHNICAL TEXTILES BASED ON MODERN TECHNOLOGIES

The technological equipment for processing chain stems linseed in technical textiles. The proposed modern production line isolation and purification of fiber flax oil trusts. Description of equipment for processing flax mill stalks of flax oil. Based on the studies of modern technology to obtain short flax fiber, proposed a new line of functional processing flax oil trusts. Calculations and description given production line. It is noted that the resulting fiber can be used for the production of environmentally friendly insulation instead of fiberglass, hygiene products, non-woven and composite materials, technical products and chaff as mulch and fuel.

Keywords: flax mill, flax oil, flax processing trusts processing line, fiber, technical textiles.

Постановка проблеми. Єдиною натуральною і екологічною сировиною в Україні є льон – це стратегічна сировина і використовується в текстильній, трикотажній, взуттєвій, целюлозно-паперової, харчової, хімічної енергетичної промисловості, медицині, автомобілебудуванні, будівництві та ін.

Волокно льону олійного придатне для виготовлення екологічно чистих утеплювачів замість скловолокна, санітарно-гігієнічних виробів, нетканих і композиційних матеріалів, деревна частина використовується в якості мульчі, палива.

В Україні у 2016 році було зайнято під посіви льону олійного 66,8 тис. га. Впродовж 11 років він займає 3 місце в переліку рентабельних технічних культур після соняшнику та ріпаку. Це пов'язано з підвищенням попитом у Європі на насіння даної культури. Так, в економічно розвинених країнах світу Канаді, Бельгії, Франції, Німеччині є великий досвід використання насіння та соломи льону олійного для створення екологічної продукції, яка охоплює широкі сфери застосування [1–3].

Аналіз останніх досліджень, у яких започатковано вирішення проблеми. Враховуючи світовий та вітчизняний досвід використання волокна льону олійного провідними вченими кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету під керівництвом доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри Чурсіної Л.А. (Україна) були проведені глибокі наукові дослідження. За результатами експериментальних та теоретичних досліджень було встановлено, що стеблова маса льону олійного за технічними характеристиками подібна до низькосортної трести льону-довгунця. Вміст волокна в стеблах становить до 22 % [4–6].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Однак така цінна культура використовується односторонньо, вирощується лише з метою отримання насіння. Її солома і треста зовсім не використовується в промисловості і спалюється на полях, що завдає непоправної шкоди ґрунту і екології регіонів. Щорічно в Україні знищується вказаний вище обсяг трести і волокнистих речовин у зв'язку з відсутністю технології та технічних засобів переробки волокна льону олійного.

Формулювання цілей статті. Визначити технологічний ланцюг обладнання для переробки стебел льону олійного у технічний текстиль.

Виклад основного матеріалу дослідження. Врожайність стебел льону олійного складає в середньому 15–20 ц/га. Якщо раніше при невеликих площах посівів, солома спалювалася і це не викликало обурення служб екологічної безпеки, то при значно збільшених площах посівів, спалювання буде наносити негативний вплив навколишньому середовищу. В економічно розвинених країнах світу спалювання соломи льону олійного заборонено. Наприклад, у Франції майже кожне фермерське господарство переробляє солому льону олійного, або ж продають її тим підприємствам, які займаються її переробкою.

Таким чином, зважаючи на значне збільшення посівів льону олійного, як в Херсонській області, так в Україні в цілому, стебла соломи льону олійного потребують розроблення технології переробки.

Відома вітчизняна технологія переробки трести льону олійного, яка була апробована в умовах України. За даною технологією стебла трести льону олійного після рулонорозмотувача подають на

транспортер сушарки СКП-10КУ1, а потім вона надходять на переробку в м'яльну машину куделеприготувального агрегату, а далі – на тіпальний модуль машини «Charle». Доочищення волокна здійснюється на трясильних машинах з верхнім і нижнім гребінними полями. Після переробки на куделеприготувальному агрегаті волокно подається на чесальну машину Ч-600-Л, укорочується та додатково очищується на машинах тонкого чесання ЧМД-4. Запропоновану технологічну лінію переробки трести льону олійного подано на рис. 1.

Рис. 1. Технологічна лінія для отримання очищеного волокна із трести льону олійного

На технологічній лінії в агрегаті КПАЛ було замінено тіпальну частину на два тіпальні модулі машини «Charle» [4]. Це було здійснено з метою запобігання намотуванню волокна на тіпальний барабан і збільшення інтенсивності очищення волокна від костриці. Загальний вигляд модернізованого куделеприготувального агрегату надано на рис. 2.

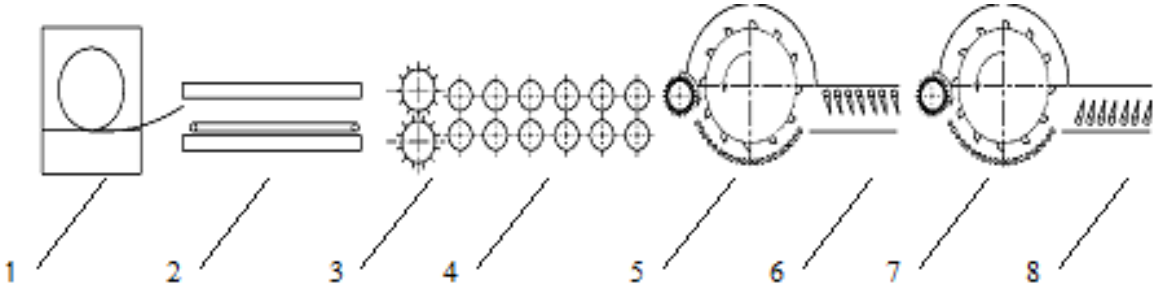


Рис. 2. Технологічна схема модернізованого куделеприготувального агрегату для переробки трести льону олійного: 1 – рулонорозмотувач; 2 – сушильна машина; 3 – кілковий живильник; 4 – м'яльна машина; 5 – тіпальний модуль машини «Charle»; 6 – трясильна машина з верхнім гребінним полем; 7 – тіпальний модуль машини «Charle»; 8 – трясильна машина з нижнім гребінним полем

На даний час експериментальна лінія наведена на рис. 2 відсутня, у зв'язку з ліквідацією Старосамбірського комбінату. Враховуючи існуючі розробки технологічних ліній з переробки короткого лляного волокна відомих провідних європейських компаній таких як Laroche (Франція), Van Dommele Engineering (Бельгія), завод ім. Г.К. Корольова (Росія) нами було запропоновану нову технологічну лінію [7].

Запропонована технологічна лінія для очищення короткого лляного волокна одержаного з трести льону олійного побудована на основі застосування обладнання яке випускається на ВАТ «Завод ім. Г.К. Корольова», м. Іваново, Російська Федерація, дозволяє одержати очищене лляне волокно високої якості. Дана лінія – льонозавод оперативно демонтується і встановлюється в місцях заготівлі сировини, що дозволяє значно знизити витрати на транспортування рулонів. Стеблова маса не вимагає додаткового підсушування і переробляється з вологістю до 25%. Сучасна технологічна лінія з первинної переробки

трести льону олійного представлена на рис. 3.

Рис. 3. Сучасна технологічна лінія для отримання очищеного волокна із трести льону олійного

Дана лінія складається з окремих з вузлів агрегату АКЛВ-1-01 агрегованими з 2 трясильними машинами марок ТН-112 та ТН-112-01 та пресом для лляного волокна ПВЛ-20. Спроектована технологічна схема наведена на рис. 4.

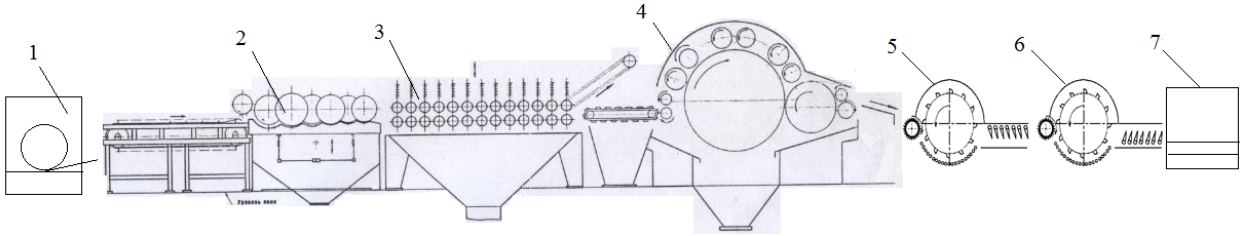


Рис. 4. Функціонально-технологічна схема лінії для переробки лляної трести льону олійного в коротке волокно: 1 – розмотувач рулонів РЛР-1500; 2 – живильник лляний ПЛ; 3 – м'яльна машина агрегату АКЛВ-1-01; 4 – тіпальний модуль машини АКЛВ-1-01 ТОМ – Л2; 5 – трясильна машина з верхнім гребінним полем ТН-112; 6 – трясильна машина з нижнім гребінним полем ТН-112-01; 7 – прес для лляного волокна ПВЛ-20

Таблиця 1

Склад основного технологічного обладнання для переробки трести льону олійного

№ п/п	Процес	Найменування обладнання	Кількість машин, шт.
1.	Розмотування рулонів	розмотувач рулонів РЛР-1500	1
2.	Подача сировини	живильник лляний ПЛ	1
3.	М'яття лляної соломи	м'яльна машина агрегату АКЛВ-1-01	1
4.	Тіпання та груба очистка волокна від костри та сторонніх домішок	тіпальний модуль машини АКЛВ-1-01 ТОМ – Л2	1
5.	Тонка очистка волокна від костри та сторонніх домішок	трясильна машина з верхнім гребінним полем ТН-112	1
6.	Тонка очистка волокна від костри та сторонніх домішок	трясильна машина з нижнім гребінним полем ТН-112-01	1
7.	Пресування	прес для лляного волокна ПВЛ-20	1
8.	Видалення відходів з цеху	Вентилятор ВР 140-40 № 8 22/1340	1
9.	Система обезпилення	Вентилятор ВР 140-40 6,3 22/1340	1
10.	Розгрузка відходів	Циклон ЦОЛ №9	1
11.	Система пневмотранспорту	Повітроводи, засови, відходи, трійники	-
12.	Система управління електрообладнання	-	-

Рулони лляної трести вручну або за допомогою фронтального навантажувача встановлюються в розмотувач рулонів (рис. 4), після чого неорієнтована маса за допомогою лляного живильника подається в м'яльну машину та тіпальний модуль машини АКЛВ-1-01; далі волокно, що пройшло необхідні механічні дії, грубе очищення волокна, надходить на тонку очистку в дві трясильні машини з верхнім гребінним та нижнім гребінним полем. Готове волокно зважується, пресується, обв'язується і на візках відправляється в

склад готової продукції. Костриця, дрібні волокна і пил видаляються з-під трясильних машин за допомогою вентилятора пневмотранспорту, встановленого в цеху. Він же подає всю масу відходів в циклон, встановлений за стіною цеху і потрапляють в ємкість, яка один або два рази на зміну проходить вивантаження.

В таблиці 1 подано склад основного технологічного обладнання для переробки трести льону олійного.

Проведені нами дослідження показали, що проект окупається протягом півроку, при роботі протягом року у дві зміни, а надходження від реалізації волокна покривають поточні витрати, що дозволяє підприємству своєчасно розрахуватися та мати достатній товарно-матеріальний запас для безперебійної роботи.

Висновки з даного дослідження і перспективи. На основі проведених розрахунків, можна зробити висновок, що переробка волокна льону олійного на основі сучасних технологій дозволить наповнити ринок України екологічно безпечними товарами технічного призначення, а саме тих де міцність волокна не є визначальним показником якості.

На основі вищенаведеного, можна стверджувати, що реалізація проекту сприятиме виходу на нові ринки збуту з екологічно безпечною продукцією та дозволить:

- створити імпортозаміщення сировини на основі використання волокна льону олійного;
- створити нові робочі місця;
- дозволить ефективно використовувати щорічно відновлювану сировини – льон олійний;
- покращить екологічну ситуацію в регіонах вирощування не завдаючи непоправної шкоди внаслідок її спалювання.

Успішне впровадження у виробництво багатьох галузей промисловості України інноваційних технологій виготовлення технічного текстилю різного функціонального призначення з використанням щорічно відновлюваного волокна льону олійного сприятиме виробництву вітчизняних конкурентоспроможних виробів технічного призначення, але для цього необхідна спільна робота сільгоспвиробників і розробників технічного текстилю, машинобудівників і всіх, хто, так або інакше, пов'язаний з виробництвом та збутом технічного текстилю. На жаль, між виробниками льняної соломи і промисловими підприємствами, які б могли використовувати її, до цих пір не має потрібних виробничих контактів. Для того, щоб конкурувати з використовуваними на сьогоднішній день промисловими волокнами (скло, синтетика, сизаль та ін.), тому необхідно консультуватися зі спеціалістами, які використовують лляні волокна та знають їх властивості.

Література

1. www.agro-business.com.ua
2. Kathleen V.D.V. Research on the use of flax as reinforcement for thermoplastic puiltruded composites / V.D.V. Kathleen // The 1-st Nordic Conference on flax and hemp processing. – Belgium, 1998.
3. Bag1ey C. Properties of Flax Fibre-Reinforced Composite Materials / C. Bagley, T. d'Anselme, J. Guyader // Works of INF, 1997. – P. 385–386.
4. Тіхосова Г.А. Наукові основи комплексної переробки стебел та насіння льону олійного : [монографія] / Л.А. Чурсіна, Тіхосова Г.А., О.О. Горач, Т.І. Янюк. – Херсон : Олді-плюс, 2011. – 356 с.
5. Головенко Т.М. Інноваційні технології одержання нетканих та целюлозовмісних матеріалів з льону олійного : монографія / Л.А. Чурсіна, Тіхосова Г.А., Мєняйло-Басиста І.О. – Херсон : Грінь Д.С., 2014. – 304 с.
6. Бобирь С.В. Розроблення технології переробки стебел трести льону олійного з метою одержання органічного геотекстилю : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. Наук : спец. 05.18.02 / Г.А. Бойко. – Херсон, 2015. – 25 с.
7. Новиков Э.В. Льнозавод по переработке масличного льна в короткое волокно на основе разработанной линии для стеблевой массы / Э.В. Новиков, А.В. Безбабченко, В.Г. Внуков, Е.М. Пучков, М.М. Ковалев // Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационные разработки для производства и переработки лубяных культур». ФГБНУ ВНИИМЛ. г. Тверь, 19-20 мая 2016 года. – С. 236–245.

Рецензія/Peer review : 9.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Клевцов К.М.

УДК 677.11.021

Г.А. БОЙКО, Л.А.ЧУРСІНА, А.В. КУТАСОВ
Херсонський національний технічний університет

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВІТЧИЗНЯНИХ, ЄВРОПЕЙСЬКИХ ТА ПІВНІЧНОАМЕРИКАНСЬКИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ ТЕХНІЧНИХ КОНОПЕЛЬ

В роботі проведений порівняльний аналіз традиційної вітчизняної технології механічної обробки стебел трести конопель та технологій передових європейських та північноамериканських підприємств з переробки стебел цієї культури. З метою виявлення основних недоліків традиційних технологій для покращення якісних характеристик вихідної сировини з технічних конопель для виготовлення на Україні не тільки канатів та мотузок, але й сучасних конкурентоспроможних виробів різного цільового призначення.

Ключові слова: конопля, волокно, технологічна лінія, конкурентоспроможність.

G.A. BOYKO, L.A. CHURSINA, A.V. KYTASOV
Kherson National Technical University

COMPARATIVE ANALYSIS DOMESTIC, EUROPEAN AND NORTH AMERICAN TECHNOLOGIES OF TECHNICAL HEMP

The aim is to analyze the European and North American technical hemp processing technology and based on the results to identify the main shortcomings of the traditional domestic technology. To substantiate the opportunity of using existing lines for the processing of fiber flax and hemp fiber with subsequent use them in ecologically pure competitive textiles. It has been established that France, Canada and China are the world's leaders in this at the present time. The planted area for technical hemp in these countries is about twenty hectares each in 2015. Ha each, while in Ukraine hemp about 2 thousand hectares. It has been determined that development of transforming of this crop and production of extremely thin textile fabrics belongs to the two leading countries - France and Austria and no country of the world does not get close with their development and methods of quality fabrics to the countries. Therefore, there is a need to develop new or full reconstruction and improvement of existing processes and equipment hemp fiber initial processing to obtain high quality raw materials, technological properties which would be able to meet the needs of various industries Ukraine.

Keywords: hemp, fiber, technological process, competitiveness.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Одним із найважливіших майбутніх проектів коноплепереробної галузі в сучасних умовах є розширення сфери використання коноплеволокна, збереження та підвищення його якості та конкурентоспроможності. Але на реалізацію цих планів впливає той фактор, що переробка конопель – досить складний і витратний процес, який безпосередньо складається з відсутності сучасних переробних підприємств, спеціалізованого обладнання та інноваційних технологій з переробки цієї культури. Тому, зміни у виготовленні якісного конкурентоспроможного волокна можливі лише за рахунок удосконалення традиційних технологій переробки технічних конопель спираючись на досвіт передових світових підприємств з переробки цієї сировини [1].

Аналіз останніх досліджень, у яких започатковано вирішення проблеми. За останні роки в світі інтенсивно відроджується інтерес до продукції з коноплеволокна, яке є одним із найцінніших видів текстильної сировини, традиційної не тільки для нашої держави. Світові лідери з переробки конопляного волокна досягли значних успіхів в покращенні технології переробки цієї сировини. Багато років вчені Франції, Канади, Бельгії, Австралії, працювали над вдосконаленням спеціалізованого обладнання з переробки коноплеволокна, щоб воно було придатне для виготовлення виробів високої якості, для застосування його не тільки в технічних цілях, але й для м'яких, тонких та разом з цим міцних тканинах. Значних результатів в адаптації льонопереробного обладнання під технологічні коноплі, придатних для перероблення конопляних волокон в тонку пряжу для тканин високої якості, для виробництва постільної білизни, досягли російські вчені. А українські вчені проводять неодноразові дослідження у напрямку вдосконалення традиційної технології [2].

Формулювання цілей статті. За допомогою світового досвіту з переробки волокна безнаркотичних конопель визначити основні недоліки вітчизняних традиційних технологій та завдяки цьому запропонувати сучасні інноваційні методи одержання екологічно чистих товарів з натуральної конопле сировини.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. На даний час обладнання українських заводів з переробки конопель надзвичайно застаріле. А технологія переробки майже всієї льоно- та коноплесировини на українських підприємствах залишається традиційною і найстарішою – це спосіб обробки сухої трести [3]. Згідно з цим способом стебла спочатку піддають біологічній або хімічній обробці з метою руйнування пектинових речовин покривних та паренхімних тканин, які оточують пучки луб'яних волокон, щоб підготувати їх до легкого відділення волокна від деревини в процесі подальшої механічної обробки стебел. Отриману тресту конопель піддають сушінню до вологості 6-7%, що сприяє підвищенню жорсткості та ламкості костриці, полегшуючи умови її виділення. Висушену тресту обробляють на м'яльних і тіпальних агрегатах. У результаті такої механічної обробки одержують довге конопляне волокно. Відходи тіпання обробляють на куделеприготувальному агрегаті, під час якого здійснюється операція формування шару сировини; трясіння відходів з метою їх збагачення, тобто очищення від смітних домішок та виділення насипної костриці, не з'єднаної з волокном; м'яття з метою подальшого подрібнення та руйнування зв'язків волокна з кострицею; тіпання відходів з

метою механічного відокремлення костриці від волокна; трясіння суміші волокон. Після чого отримують чисте, проте менш цінне порівняно з довгим, коротке коноплеволокно. Отримане довге та коротке коноплеволокно піддають вилежуванню та пресуванню. На рис. 1 наведено традиційну схему виробництва довгого волокна конопель на українських коноплезаводах.

Рис. 1. Традиційна схема виробництва довгого волокна конопель

Детально розглянувши та проаналізувавши традиційні технології механічної обробки конопель, можна дійти висновку, що вони мають декілька істотних недоліків, а саме:

1. Волокно конопель, одержане за такими технологіями, характеризується високою собівартістю, що пов'язана з високою вартістю устаткування, великою метало- й енергоємністю обладнання. Отримання максимальної кількості довгого волокна потребує збереження паралельності стебел на всіх етапах технологічного процесу, що також є причиною підвищення вартості довгого волокна, тому воно не користується попитом у споживачів. Крім того, відсутність виробництва потрібного устаткування вітчизняною промисловістю і зумовлена цим необхідність закупівлі закордонного обладнання впливає на вартість кінцевого продукту.

2. Нераціональне використання конопле сировини. Проведений аналіз науково-технічної та патентної літератури, присвяченої проблемі удосконалення існуючих технологій первинної обробки конопель, свідчить, що традиційні технології спрямовані тільки на отримання найбільш цінного довгого паралелізованого коноплеволокна – сировини, фізико-механічні властивості якої здатні задовольнити лише потреби шпагатних і канатних фабрик. Невеликий відсоток виходу довгого волокна конопель (15–20%) порівняно з високим вмістом його в стеблах (понад 35%) та значна кількість волокнистих відходів (приблизно 75–80% від маси переробленої трести) і є свідченням недосконалості існуючих технологій первинної обробки конопель та нераціонального використання коноплеволокна.

3. Низька якість волокна, одержаного за традиційною технологією. Технологічні характеристики цього коноплеволокна відповідають лише вимогам канатних фабрик, а відсутність відповідних технологій вторинної обробки не дозволяє застосовувати його в інших галузях промисловості.

У результаті цього процесу той продукт, який вітчизняні підприємства з переробки коноплеволокна можуть запропонувати сучасному споживачу, не відповідає більшості параметрам європейського ринку. Сировина після цієї обробки придатна лише для виготовлення кручених виробів – канатів і мотузок різних видів та призначення, шпагату, приводних пасів тощо.

Українські вчені з Інституту луб'яних культур НААНУ (м. Глухів Сумської обл.) та Херсонського національного технічного університету здійснювали неодноразові дослідження процесу виділення лубу зі стебел високоволокнистих сортів безнаркотичних конопель. Було запропоновано нові технології механічної обробки стебел насіннєвих конопель, які базуються на застосуванні відомих та удосконалених інтенсивних механічних дій у процесі виділення лубу, а також підборі оптимальних режимів роботи складових частин традиційних агрегатів. Але, незважаючи на використання удосконалених механічних прийомів, після обробки стебел за даною технологією все одно одержують грубий непрядомий луб, який характеризується порівняно низьким вмістом костриці, проте містить деякі залишки покривно-паренхімних тканин і мають високу лінійну щільність та дуже низьку гнучкість. Подальші застосування цього волокна потребують здійснення додаткової біологічної або хімічної та механічної обробки [4]. Запропоновані технології

удосконалення традиційного обладнання призводять до збільшення собівартості отриманого волокна, оскільки ресурсозберігаючі технології вторинної переробки лубу в волокно на даний час відсутні.

Натомість російські вчені стверджують, що конопля, яка відноситься до класу луб'яних культур та наближена за своїми властивостями до льону-довгунця може перероблятися на льонопереробному, але адаптованому під коноплю обладнанні. У 2012–2013 рр. в ВАТ СНІІ «Машдеталь» розробили технологію переробки волокна конопель в пряжу для випуску тонких тканин, придатних в тому числі для виробництва постільної білизни з використанням лляного обладнання [5]. Було запропоновано технологічну послідовність і відповідні засоби технологічного оснащення, що включають льоночесальний агрегат Ч-302-Л, розкладний агрегат РП-500-Л, стрічкоперегоночний ЛП-500-Л, стрічкові машини 3-х переходів ЛЧ-2-Л1, ЛЧ-3-Л1, ЛЧ-4-Л1, ровничні Р-216-Л, агрегат для рідинної обробки рівниці під тиском АКДН-601-Л, прядильні машини ПМ-88-Л5, ПМ-88-Л8, ПМ-88-Л10 та сушильна машина СП-8-Л2 [4]. В результаті, вперше в Росії була отримана досить тонка тканина, придатна для виробництва якісних побутових тканин. Аналогів зробленому в Костромі конопляного полотна в Росії немає.

В сучасних умовах в розвинутих країнах, таких як Фінляндія, Норвегія, Канада, Австралія та Бельгія, розроблено нові підходи до збирання та первинної обробки конопель, що суттєво відрізняються від традиційної класичної схеми, яку застосовують в Україні та Росії, і спрямовані на зниження енергоємності процесів та застосування високопродуктивних сучасних збиральних та переробних машин. У цих країнах солому технічних конопель збирають ще зеленою без процесу мочіння (від голанд. «гниття»), адже процес відокремлення волокна від деревини за таких умов негативно впливає на врожай і знижує доступність волокна і костри для комерційного використання до 80%. Саме через процес мочіння конопляне волокно було дорожчим порівняно з бавовною і синтетичними волокнами, а також, через «гниття» більшість конопляного волокна втратило свою природну силу, тим самим обмежуючи його застосування в більшості сферах виробництва.

Природно-кліматичні умови Північно-Західної Європи та Північної Америки не дозволяють використовувати технологію розстилу для приготування трести зі стебел конопель, а застосування промислових способів одержання трести підвищує собівартість волокна. Тому було запропоновано нову економічно вигідну технологію збирання та переробки конопель. Згідно з даною технологією, збирання конопель здійснюють у фазі біологічної стиглості, коли насіння дозріває, але солома ще зелена. Ця технологія була перевірена європейськими вченими і доведена можливість отримання високоякісного волокна прямо з поля. Наприклад, інженерами Австралії, Канади, Нової Зеландії та Угорщини був розроблений сучасний декортикатор, який переробляє коноплю, як на полі так і в стаціонарних умовах. Цей метод дозволяє отримувати волокно в рекордно короткий термін часу, в порівнянні з іншими методами. Можна перейти від сирої зеленої соломи до готового "бавовноподібного волокна" та інших текстильних волокон преміум класу протягом декількох днів. Він дозволяє отримати набагато більше високоякісного волокна зі збереженням всіх його природних властивостей, призводить до збільшення виходу непошкоджених волокон до 95%. Після декортикатора в порівнянні з іншими технологіями, волокно виходить більш міцним, переважають довгі волокна, які придатні для наступного технологічного обладнання. Таке волокно можна застосовувати для тканин, килимів, оббивки і промислового текстилю; сировина для костробетону; волокно для композитів: панелей, деталей автомобілів, піддонів і будівельних матеріалів; целюлоза і волокно для паперу та целюлозних продуктів; волокна для напіввовняних матеріалів; волокна для одягу, текстилю, постільної білизни; волокно і костра для харчових контейнерів; костра і відходи для тварин; канатів, пакетування, шпагатів, тощо. А також така технологія виробництва конопляного волокна є більш економною, ніж традиційні методи [6].

Висновки та перспективи подальших досліджень. Виходячи з викладеного, постає необхідність у розробці нових або в повній реконструкції та удосконаленні існуючих технологічних процесів та устаткування первинної обробки коноплеволокна з метою отримання високоякісної сировини, технологічні властивості якої були б здатні задовольняти потреби різних галузей промисловості України.

Література

1. Janick J. Hemp: a new crop with new uses for North America / J. Janick, A. Whipkey // Trends in new crops and new uses . – Alexandria, VA: ASHS Press, 2002. – P. 284–325.

2. Коропченко С.П. Розробка технологічного процесу виділення лубу конопель : дис. … кандидата технічних наук : 09.00.07 / Коропченко Сергій Петрович. – Херсон, 2007. – 137 с.

3. Справочник по заводской первичной обработке джута, кенафа, канатника и конопли / под ред. А.А. Разуваева. – М. : Издательство научно-технической литературы РСФСР, 1953. – 380 с.

4. Международная ассоциация конопли [Електронний ресурс]. – Режим доступу : mojo.calyx.net/~olsen/HEMP/IHA/.

5. Кулемкин Ю.В. Определение путей адаптации льночесальных машин для переработки волокон конопли / Ю.В. Кулемкин, А.В. Привалов, Г.М. Травин // Материалы всероссийской научно-практической конференции. – Кострома : КГУ им. Н.А. Некрасова, 2013. – С. 55–59.

6. Ontario Конопля [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.ontariohempalliance.org.

Рецензія/Peer review : 25.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Тіхосова Г.А.

УДК 675.266

Т.О. КОЛЕСНИК, О.А. АНДРЕЄВА, Л.А. МАЙСТРЕНКО
Київський національний університет технологій та дизайну

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ВИГОТОВЛЕННЯ, СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ШКІРЯНОГО ПЕРГАМЕНТУ

Під час експлуатації, зберігання та старіння шкіряних матеріалів важливо знати, за яких умов вони виготовлені і яким чином ці умови впливають на їх стан. Робота присвячена дослідженню способів виготовлення, структури та властивостей шкіряного пергаменту, пошуку прийнятних методів його аналізу. Експериментально встановлено вплив одного старовинного та трьох сучасних способів виготовлення на показники хімічного аналізу, фізико-механічних випробувань та структуру пергаменту з овечої сировини. Одержані результати будуть враховані при удосконаленні технології виготовлення пергаменту різного цільового призначення, а також при дослідженні властивостей сучасних та стародавніх шкіряних матеріалів.

Ключові слова: пергамент, спосіб виготовлення, структура, властивості.

T.O. KOLESNYK, O.A. ANDREYEVA, L.A. MAISTRENKO
Kyiv National University of Technologies and Design

RESEARCH OF MANUFACTURING METHOD, STRUCTURE AND PROPERTIES OF LEATHER PARCHMENT

During operation, storage and aging of leather materials important to know the conditions under which they are made and how these conditions affect their substance. The work is devoted to research methods of production, structure and properties of leather parchment, finding suitable methods of its analysis. Experimentally influence of one of the ancient and three modern methods of manufacturing on indices of chemical analysis, physical and mechanical testing and structure of sheep parchment materials was found. The results will be included in the improvement of manufacturing technology parchment different purpose, and the study of the properties of modern and ancient leather materials.

Keywords: parchment, method of manufacture, structure, properties.

Вступ

На сьогоднішній день з трьох, найбільш поширених форм написання інформації (папірусу, пергаменту і паперу) шкіряний пергамент є найбільш міцним і стійким до старіння та зносу. У фондах архівів, бібліотек, музеїв і приватних колекціях зберігається чимало пам’яток давньої писемності на пергаменті [1, 2].

Пергамент є одним із стародавніх матеріалів у вигляді спеціально оброблених недублених шкір зі шкур різних, переважно молодих, свійських тварин (овець, кіз, корів, кролів) та диких звірів (оленів, білок) [3, 4]. Це абсолютно унікальний шкіряний матеріал, який суттєво відрізняється від інших видів шкіри як за своєю структурою, так і за властивостями, що зумовлено багатьма вихідними чинниками та умовами обробки [2, 5].

Аналіз літератури виявив, що вивченням пергаменту займалося багато вчених і більшість робіт присвячена дослідженню властивостей стародавнього пергаменту [2–6]. Основними проблемами пергаменту були і залишаються формування та збереження у часі його властивостей, вирішення яких неможливе без обґрунтованого, принципового підходу

Не зважаючи на те, що у наш час застосування пергаменту більш обмежене, попит на цей вид шкіри не зник: так, парламентські акти у Великій Британії, як і раніше, друкуються на високоякісному пергаменті (так званому «веллумі» чи «велені»); пергамент використовується для виготовлення музичних інструментів, деяких деталей машин, палітурок книжок, жіночих прикрас, стильних абажурів для світильників, сувенірних виробів, реставрації книжкових раритетів тощо [7, 8]. Разом з тим, проблемами відновлення стародавньої або розробки нової технології цього специфічного виду шкіри останні десятиліття майже ніхто не займався, за винятком обмеженого кола фахівці [5, 9–13], тому наявність прогалин в цій області дозволила обґрунтувати мету роботи, окреслити завдання для її реалізації. Не менш вагомим аргументом для обрання теми було й те, що при виготовленні пергаменту (без дублення і традиційного оздоблення) не передбачено використання шкідливих для навколишнього середовища сполук хрому, барвників, фенолів, органічних розчинників тощо.

З урахуванням викладеного метою роботи було дослідити відомі способи виготовлення та властивості пергаменту, знайти прийнятні методи його аналізу для формування методологічного підходу до удосконалення технології обробки, створення об`єктивної оцінки цього специфічного біоматеріалу.

За об’єкт дослідження обрали технологічні процеси виготовлення стародавнього і сучасного пергаменту, предмет дослідження – структуру та властивості шкіри, виготовленої за певною технологією.

Експериментальна частина

Під час роботи застосували традиційні, поширені у шкіряно-хутровому виробництві методи хімічного аналізу та фізико-механічних випробувань; сучасний аналітичний метод – оптичну мікроскопію, а також статистичну обробку експериментальних даних. При цьому задіяли наступні типи лабораторного обладнання: ваги лабораторні електронні Axis AD 200; сушильну шафу SNOL 67/350; муфельну піч SNOL

8.2/1100; розривну машину РМ-30-1; pH-метр Seven Compact; цифровий мікроскоп MICROmed XS 3330 (до 1600х).

У попередніх дослідженнях [8] визначали властивості шкіряного пергаменту у вигляді промислових зразків зі шкур великої рогатої худоби (ВРХ), що були виготовлені за сучасною технологією у виробничих умовах і призначалися для виробництва абажурів для світильників. На даному етапі аналізували чотири відомі способи виготовлення (табл. 1) та зразки шкіряного пергаменту, одержані за цими способами з овечої сировини мокросоленого способу консервування у лабораторних умовах: група I – стародавній спосіб [5]; група II – сучасний спосіб (А.с. 260074 СССР, 1970 [11]); група III – сучасний спосіб (А.с. 704990 СССР, 1979 [12]); група IV – сучасний спосіб (виробнича технологія).

Таблиця 1

Особливості способів виготовлення дослідних зразків пергаменту

Група	Відмочу-вання	Зоління		Знезолю-вання	Пікелю-вання	Вибілю-вання	Пластифі-кація*
		I стадія	II стадія				
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
I	вода - 400 %	вода - 400 % гідроксид кальцію – 20 г/л	вода - 400 % гідроксид кальцію - 20 г/л	вода - 400 % сульфат амонію - 3%	–	–	–
II	вода - 400 % сульфід натрію - 0,8 г/л	вода - 400% сульфід натрію - 10 г/л гідроксид кальцію - 15 г/л	–	вода - 400 % сульфат амонію - 3%	–	–	+
III	вода - 400 %	вода - 400 % гідроксид кальцію - 10 г/л	–	вода - 400 % сульфат амонію - 3%	–	хлорне вапно - 8 г/л	–
IV	вода - 400 % карбонат натрію - 1,2 % неіон. ПАР - 0,3 %	вода - 400 % гідроксид кальцію – 25 г/л сульфід натрію - 10 г/л	–	вода - 400 % 1. сульфат амонію - 0,5 % 2. сульфат амонію - 4,0 %	вода - 200 % хлорид натрію - 6,0 % сірчана кислота - 1,2 %	–	+

Примітка: витрата гліцерину – 2,6 %.

Характерними ознаками овчини у порівнянні зі шкурами ВРХ, є менша міцність, сильна тягучість, велика пухкість та жирність шкірної тканини, що зумовлено особливою будовою овечих шкур. Дерма овчини має чіткий поділ на сосочковий та сітчастий шари, при цьому товщина сосочкового шару здебільшого переважає товщину сітчастого шару. Сосочковий шар овечих шкур сильно розпушений через велику кількість волосяних сумок, сальних і потових залоз, а також м'язів, що піднімають волос. У шкурах молодняка сосочковий шар більш розвинений, ніж у шкурах дорослих тварин. Сітчастий шар овчини утворений з тонких колагенових волокон, які порівняно зі шкурами інших тварин укладені менш щільно і переважно горизонтально [14]. Разом з тим, з овчини виготовляють високоякісний пергамент для рукописів, галантерейних виробів тощо.

Показники вихідної овечої сировини: температура зварювання 58,5 °С; масова частка вологи 51,5 %.

За тактильно-візуальною оцінкою дослідні зразки пергаменту з овчини відрізнялись від промислових зразків з коров'ячої сировини меншою прозорістю та білувато-сірим кольором (рис. 1).

група I група II група III група IV

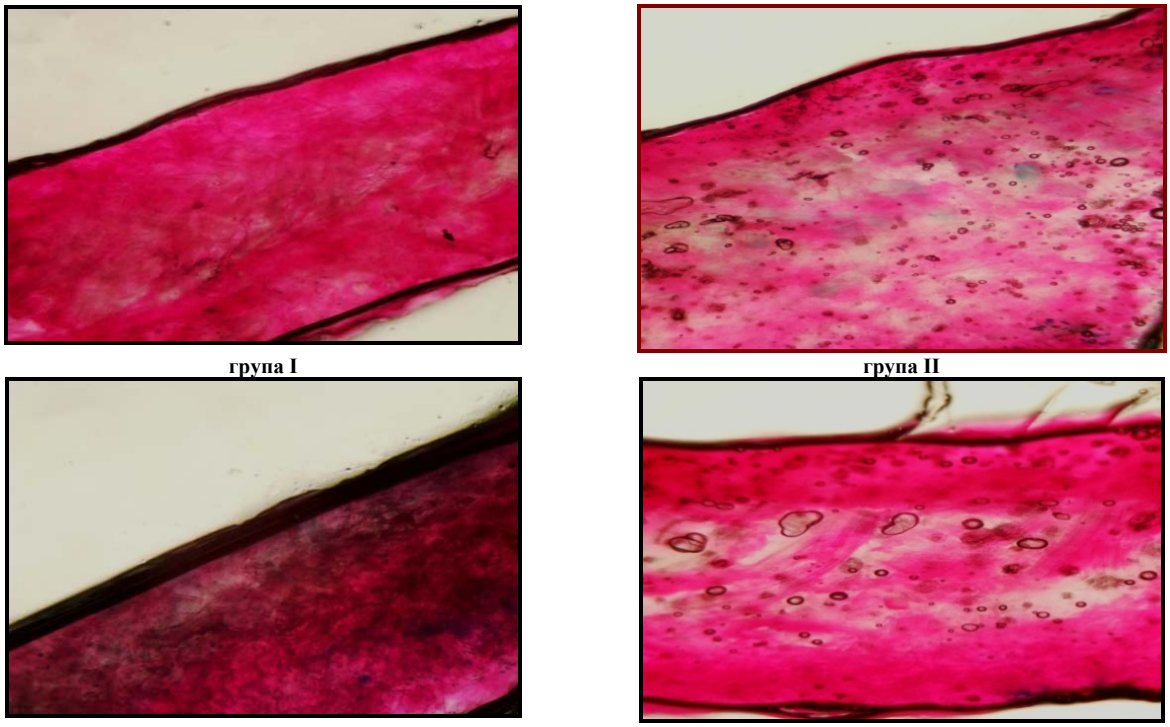
Рис. 1. Фотографії дослідних зразків пергаменту

Певні відмінності спостерігались і між зразками пергаменту окремих дослідних груп; так, найбільш

приємними на дотик виявилися зразки групи III, у яких чітко прослідковується фактура лицьової поверхні, вони найбільш приємні на дотик, мають світлу, чисту лицьову поверхню. Найменш привабливими візуально, а на дотик більш грубими були зразки пергаменту групи I, вироблені за стародавнім способом без пластифікації гліцерином.

Результати мікроскопічних досліджень дослідних зразків пергаменту наведено нижче (рис. 2; зрізи були зафарбовані спочатку фуксином кислотним, а потім метиленовим синім; загальне збільшення 40х):

- група I: структура шкірної тканини однорідна, досить щільна; не видно ані волосяних цибулин, ані залишків волосся та продуктів розпаду білків;
- група II: структура зразків більш пухка, ніж у групі I; можна побачити залишки волосся та волосяні цибулини;
- група III: структура шкірної тканини однорідна, найщільніша з усіх зразків; не видно ані волосяних цибулин, ані залишків волосся чи продуктів розпаду білків;
- група IV: видно розшарування між сосочковим та сітчастим шарами, що може бути однією з причин низької міцності зразків; ані цибулин, ані волосся, ані залишків продуктів розпаду білків не видно.



група I **група II**

група III **група IV**

Рис. 2. Мікроскопічні зображення дослідних зразків пергаменту

Як і для промислових зразків пергаменту, результатам мікроскопічних досліджень дослідних зразків цієї шкіри цілком відповідають показники їх хімічного аналізу та фізико-механічних випробувань (табл. 2).

З одержаних даних видно вплив лужних реагентів, які застосували при золінні, на формування показників пергаменту. Так, використання чисто вапняних зольників (групи I, III) підвищує вміст мінеральних речовин (в 3,1-5,2 рази) та гідроксиду кальцію у шкірі, а також її міцність (в 2,5-4,5 рази) порівняно з сульфідно-вапняним золінням (групи II, IV). Відносне видовження шкіри, навпаки, при цьому знижується (в 1,8-4 рази при розриві). Гідротермічна стійкість пергаменту, яку визначали по температурі зварювання, у порівнянні з вихідною сировиною знижується на 2-5 °С, що можна пояснити руйнуванням частини зв'язків у структурі колагену внаслідок зоління, а у групі IV – ще й дією кислотно-сольового пікелювання.

Виявлено певний взаємозв'язок між окремими показниками шкіри, так, наприклад, зі збільшенням вмісту мінеральних речовин у шкірі зростають показники її міцності (як в цілому $\sigma_р$, так і лицьового шару $\sigma_Л$; рис. 3,*а*), у той час як показники відносного видовження зменшуються (як при напруженні 10 МПа L_{10}, так і при розриві L_{10}; рис. 3,*б*), що обумовлено наповнювальною дією мінеральних речовин та зміною ступеня рухомості структурних елементів дерми. Слід зазначити, що при розгляданні графічних залежностей у роботі брали лише ті, для яких величина достовірності апроксимації була не < 0,7500.

Таблиця 2

Показники дослідних зразків пергаменту

П.ч.	Показник	Група			
		I	II	III	IV
1.	Масова частка вологи, %	14,0	14,4	14,0	14,2
2.	Масова частка мінеральних речовин, %*	4,30	0,82	3,90	1,41
3.	Масова частка $Ca(OH)_2$, %*	0,85	0,02	0,94	0,04
4.	Товщина, мм	0,93	0,64	0,57	0,45
5.	Межа міцності при розтягу $\sigma_р$, 10 МПа	2,54	1,19	2,90	0,57
6.	Міцність лицьового шару $\sigma_Л$,10 МПа	2,42	1,02	2,51	0,56
7.	Видовження при напруженні 10 МПа L_{10}, %	16	35	24	–
8.	Видовження при розриві $L_р$, %	23	92	51	69
9.	Температура зварювання, °С	54,5	56,5	56,5	53,5

Примітка: у перерахунку на абсолютно суху речовину

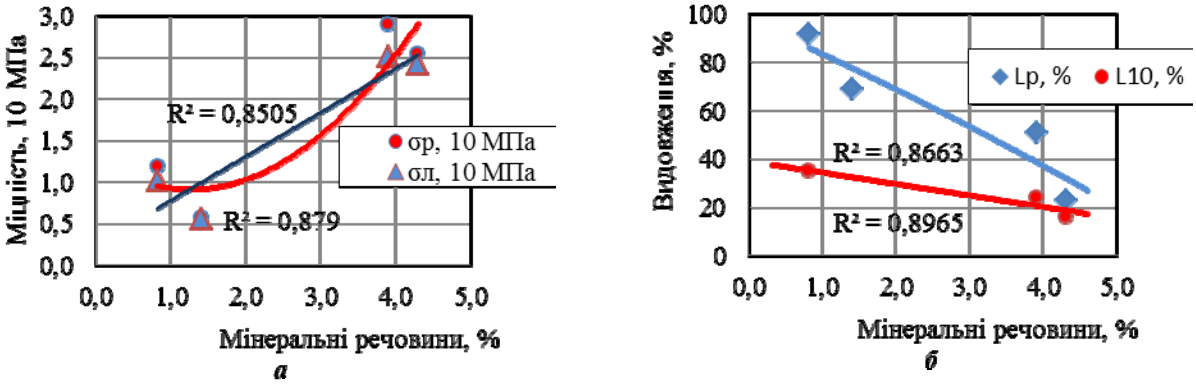


Рис. 3. Вплив вмісту мінеральних речовин на міцність *(а)* та видовження *(б)* дослідних зразків пергаменту

На підставі одержаних даних кращими виявилися зразки пергаменту групи III, які мали найкращу тактильно-візуальну оцінку, прийнятні фізико-хімічні показники, наприклад, високу міцність та гідротермічну стійкість (табл. 2, рис. 3). Тому у подальшому, при удосконаленні технології виготовлення пергаменту, будемо орієнтуватися на регламент, рекомендований авторським свідоцтвом № 704990 (1974 р.), який до того ж передбачає меншу витрату гідроксиду кальцію та виключає використання шкідливого для навколишнього середовища сульфіду натрію.

Висновки

З аналізу літератури виявлено, що проблемами відновлення стародавньої або удосконалення існуючої технології пергаменту останні десятиліття майже ніхто не займався, за винятком обмеженого кола фахівців. Вивчення, відродження та збереження цього специфічного виду шкіри може йти різними шляхами, які доповнюють один одного: відтворенням старовинної і удосконаленням (розробкою) сучасної технології.

Експериментально встановлено основні показники хімічного аналізу та фізико-механічних випробувань, а також структурні особливості дослідних зразків пергаменту, виготовленого з овчини за одним стародавнім і трьома сучасними способами. Виявлено, що спосіб введення хімічних реагентів, особливо лужних, суттєво впливає на рівномірність прозолеcності голини, ступінь розпущення структури та її хімічний склад, що, у свою чергу визначає міцність, гнучкість, колір та фактуру пергаменту. Кращими виявилися зразки пергаменту, виготовленого за авторським свідоцтвом № 704990 (1979), які мали високу тактильно-візуальну оцінку, прийнятні фізико-хімічні показники. Одержані результати будуть враховані при удосконаленні способу виготовлення пергаменту різного цільового призначення, дослідженні властивостей сучасних та стародавніх шкіряних матеріалів.

Література

1. Палеха Ю. Загальне документознавство : навч. посіб. / Ю. І. Палеха, Н. О. Леміш. – К. : Вид. «Ліра-К», 2008. – 395 с.

2. Галабурда А. Пергамент: проблеми збереження та реставрації / А. Галабурда // Вісник Львів. ун-ту. Серія книгозн. бібліот. та інф. технол. – 2014. – Вип. 9. – С. 53–58.

3. Reed Ronald. Ancient Skins Parchments & Leathers. – Leeds : Seminar Press, 1972. – 212 p.

4. Meliora di Curci. The History and Technology of Parchment Making. – Lochac College of Scribes, 2003.

5. URL: http://www.sca.org.au/scribe/articles/parchment.htm

6. Киреева В. Н. Средневековый пергамен : сравнительный анализ технологий (по историческим и экспериментальным данным) : автореф. дисс. на соискание уч. степ. канд. культурологии : 24.00.03 – Музееведение, консервация и реставрация историко-культурных объектов. – М., 1998. – 26 с.

7. Badea Elena. Surface Characterization of Parchments by Thermal Microscopy and Unilateral NMR / Elena Badea, Claudiu Şendrea, Cristina Carşote, Lucreția Miu, Giuseppe Della Gatta : Proceedings of the 6th International Conf. [«ICAMS 2016 Advanced Materials and Systems»], (Bucharest, October 20th-22nd, 2016). – P. 535–538.

8. Badea E. Characterisation and evaluation of the environmental impact on historical parchments by DSC / E. Badea, Gatta G. Della, P. Budrugeac // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2011. – 104/2. – P. 495–506.

9. Колесник Т. О. Пергамент: особливості виготовлення, структура та властивості / Т. О. Колесник, О. А. Андреєва, Л. А. Майстренко, О. В. Асаулова // Науковий вісник Мукачівського державного університету. – 2016. – 21(16). – С. 25–32.

10. А.с. 30858 Болгария, МКИ С14С 13/00. Метод за получаване на пергамент / П. И. Пенчев, М. Д. Алексиева. – № 48466 ; заявл. 11.07.80 ; Опубл. 25.09.81.

11. Toth Bela. Elfelejtett technologiak : a pergamenkeszites / Bela Toth // Bor-es cipotechn. – 1989. – V. 39, N 6. – C. 219–221.

12. А.с. 260074 СССР, МКИЗ С14С 28а,2. Способ получения писчего кожевенного пергамента / В. А. Кутьин (СССР). – № 1259373/28-1 ; заявл. 22.07.68 ; опубл. 22.12.69, Бюл. №3 (1970).

13. А.с. 704990 СССР, МКИЗ С14С 13/00. Способ получения писчего пергамента из шкур / А. М. Игнатов, Л. А. Шлякова, В. Т. Сарычева, М. М. Дорофеев (СССР). – № 2471699/28-12 ; заявл. 29.03.77 ; опубл. 25.12.79, Бюл. № 47.

14. Irving Tova. The manufacture of parchment and vellum : научное издание / Tova Irving // World Leather. – 2008. – V. 21, N 6. – P. 20–22.

15. Андреєва О. А. Товарознавство шкіряно-хутрової сировини : навч. посіб. / Андреєва О. А., Цеменко Г. В. – К. : КНУТД, 2010. – 355 с.

Рецензія/Peer review : 28.2.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Мокроусова О.Р.

УДК 677.055

Є.О. КОРОБЧЕНКО, В.В. ЧАБАН
Хмельницький національний університет

МЕХАНІЗМ ВІДТЯГНЕННЯ ПОЛОТНА КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ З ДВОПОТОЧНИМ ЛОБОВИМ ВАРІАТОРОМ ТА ВИБІР ЙОГО ПАРАМЕТРІВ

Ефективність роботи круглов'язальних машин залежить від досконалості їх механізмів, зокрема механізму відтягнення полотна. Ефективність механізму відтягнення полотна зумовлена стабільністю зусилля відтягнення полотна, що може бути досягнуто наявністю в його складі варіатора швидкості. При цьому, виходячи із конструктивних особливостей механізмів відтягнення полотна круглов'язальних машин, слід віддати перевагу лобовим фрикційним варіаторам. Оскільки існуючі конструкції таких варіаторів не дозволяють рівномірно розподілити потужність, що передається відтяжним валикам механізму, запропоновано використовувати в його складі двопоточний лобовий фрикційний варіатор. В результаті виконаних досліджень розроблено нову конструкцію механізму відтягнення полотна круглов'язальної машини з двопоточним лобовим фрикційним варіатором та метод вибору його робочих параметрів. Встановлено, що запропонований механізм відтягнення полотна, працездатний, надійний та ефективний в роботі. Використання такого механізму у складі круглов'язальної машини дозволяє підвищити надійність та довговічність роботи як самої машини, так і якість трикотажного полотна. Результати досліджень можуть бути використані при розробці нових моделей круглов'язальних машин.

Ключові слова: круглов'язальна машина, механізм відтягнення в'язального полотна, стабільність зусилля відтягнення полотна, лобовий фрикційний варіатор, двопоточний лобовий фрикційний варіатор.

E.A. KOROBCHENKO, V.V. CHABAN
Khmelnytskyi National University

MECHANISM BRACES CANVAS ROUND KNITTING MACHINES WITH FRONTAL DUO FLOW VARIATOR AND THE CHOICE OF ITS PARAMETERS

The effectiveness of circular knitting machines depends on the perfection of mechanisms, including mechanisms braces canvas. The mechanism caused by braces paintings stability efforts braces canvas that can be achieved by the presence in its composition variator speed. Thus, based on the design features of the mechanisms braces cloth round knitting machines, should be preferred frontal friction variator. Since the existing structures do not allow such variator evenly distribute power transmitted dilatory roller mechanism proposed to use part of his frontal duo flow friction variator. As a result of research developed a new design mechanism braces blade circular knitting machine with frontal duo flow friction variator and the method of selecting its operating parameters. It is established that the proposed mechanism braces cloth, hard-working, reliable and efficient in operation. The use of such a mechanism consisting of a circular knitting machine can increase the reliability and durability of both the machines and the quality knitted fabric. The research results can be used to develop new models of circular knitting machines.

Keywords: circular knitting Machines knitting cloth braces, braces stability efforts cloth, friction variator frontal, frontal duo flow friction variator.

Перспективним напрямком підвищення ефективності роботи круглов'язальних машин, є удосконалення їх механізмів, зокрема механізму відтягнення полотна. Дослідження [1, 2] показують, що продуктивність круглов'язальних машин та якість полотна суттєво залежать від довговічності роботи механізму відтягнення полотна та стабільності зусилля його відтягнення. Тому проблема підвищення ефективності роботи круглов'язальних машин шляхом удосконалення механізмів відтягнення полотна є однією із актуальних проблем легкого машинобудування. Для розв'язання цієї проблеми важливим є аналіз впливу параметрів механізму відтягнення полотна на ефективність роботи круглов'язальної машини, розробка нових конструкцій механізмів та методу їх розрахунків.

Об'єктом досліджень обрано механізм відтягнення полотна круглов'язальної машини з двопоточним лобовим варіатором та метод вибору його параметрів. При розв'язанні поставлених задач були використані сучасні методи теорії проектування машин і апаратів легкої промисловості та теорії деталей машин.

Постановка завдання. Враховуючи актуальність питання підвищення ефективності роботи круглов'язальних машин (підвищення продуктивності та якості виробів), стаття присвячена розробці нової конструкції механізму відтягнення полотна з двопоточним фрикційним лобовим варіатором та методу вибору його робочих параметрів.

Результати та їх обговорення. Відомий механізм відтягнення полотна круглов'язальної машини, що містить ведучий і два ведені відтяжні валики, кінематично з'єднані між собою, та двопоточний лобовий фрикційний варіатор з диском, встановленим на ведучому відтяжному валику, та двома котками, розташованими по різні сторони диску, причому один із котків встановлено на проміжному валу, розташованому в опорах (Пат. України на корисну модель № 57144, МПК: D04 B 15/88 2011 р.). Розташування проміжного вала в нерухомих опорах не здатне забезпечити надійний притиск котків до диску при неминучому зношенні в процесі роботи варіатора їх поверхонь, що знижує довговічність роботи механізму відтягнення полотна круглов'язальної машини та стабільність процесу його відтягнення.

Враховуючи вище сказане, в основу досліджень покладена задача створити такий механізм відтягнення полотна круглов'язальної машини, в якому шляхом введення нових елементів та їх зв'язків

забезпечилось би підвищення ефективності роботи механізму відтягнення полотна круглов'язальної машини.

Поставлена задача вирішена авторами тим, що запропонований механізм додатково обладнаний кронштейном, в якому розташовані опори проміжного вала, причому кронштейн виконано рухомим з можливістю забезпечення притискання котка, встановленого на проміжному валу, до диску.

Додаткове обладнаний механізму відтягнення полотна круглов'язальної машини кронштейном, в якому розташовані опори проміжного вала, та виконання кронштейна рухомим з можливістю забезпечення притискання котка, встановленого на проміжному валу, до диску, забезпечує надійний притиск котків до диску незалежно від зношення робочих поверхонь як котків, так і диску, що призводить до підвищення довговічності роботи механізму відтягнення полотна круглов'язальної машини та стабільності його відтягнення.

Схема запропонованого авторами механізму відтягнення полотна круглов'язальної машини представлена на рис. 1.

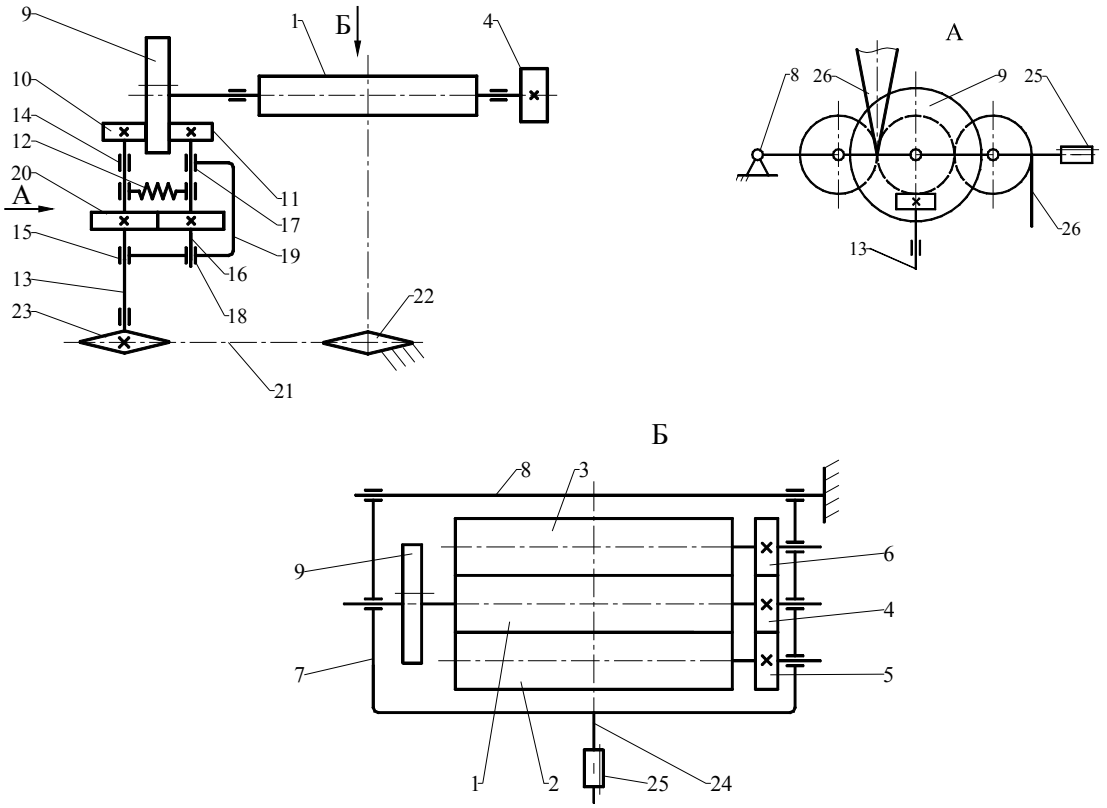


Рис. 1. Схема механізму відтягнення полотна круглов'язальної машини: 1 – ведучий відтяжний валик; 2, 3 – ведені відтяжні валики; 4, 5, 6 – циліндричні шестерні; 7 – рама; 8 – нерухома вісь; 9 – диск; 10, 11 – котки; 12 – пружина; 13 – вертикальний приводний вал; 14, 15 - нерухомі опори; 16 – проміжний вал; 17, 18 – рухомі опори; 19 – кронштейн; 20 – зубчаста передача; 21 – ланцюгова передача; 22 – ведуча зірочка; 23 – ведена зірочка; 24 – направляюча; 25 – вантаж; 26 – полотно

Принцип роботи механізму відтягнення полотна такий. При вмиканні круглов'язальної машини механізм відтягнення полотна починає обертатися навколо осі машини. Ланцюг ланцюгової передачі 21 починає обертатися навколо нерухомої ведучої зірочки 22 і приводить в обертальний рух ведену зірочку 23, жорстко закріплену на вертикальному приводному валу 13, приводячи його в обертання. Обертальний рух вертикального приводного вала 13 передається котку 10, жорстко з ним з'єднаному, і далі за допомогою циліндричної зубчастої передачі 20 – проміжному валу 16 та котку 11, жорстко з ним з'єднаному. Котки 10, 11 за допомогою пружини 12 притискуються до диска 9 (зубчасте зачеплення циліндричної зубчастої передачі 20 виконано з можливістю радіального переміщення зубчастих коліс і, відповідно, котків). Сила тертя в парах коток 10 – диск 9 і коток 11 – диск 9, що виникає при цьому, зумовлює обертальний рух диска 9 і з'єднаного з ним ведучого відтяжного валика 1, на якому він закріплений. Обертальний рух ведучого відтяжного валика 1 за допомогою зубчастого зачеплення циліндричних шестерень 4-5 та 4-6 передається веденим відтяжним валикам 2, 3, здійснюючи процес відтяжки полотна 26, заправленого між ними. В разі, коли лінійна швидкість відтяжних валиків буде меншою ніж швидкість в'язання (відтягнення) полотна 26, рама 7 разом з відтяжними валиками 1, 2, 3 опускається, повертаючись навколо нерухомої осі 8 за годинниковою стрілкою (згідно з рис. 1). При цьому диск 9 варіатора опускається відносно котків 10, 11, зменшуючи таким чином робочий радіус диска. Передаточне число варіатора зменшується, збільшуючи частоту обертання диска 9 і, відповідно, відтяжних валиків 1, 2, 3. Відтяжні валики, маючи при цьому більшу лінійну швидкість, піднімаються разом з рамою 7 по полотну 26 (рама 7 повертається навколо нерухомої осі 8 проти

годинникової стрілки). При цьому робочий радіус диска збільшується, що призводить до збільшення передаточного числа варіатора і, таким чином, зменшення лінійної швидкості відтяжних валиків. Далі процес зміни положень диска 9 відносно котків 10, 11 повторюється до тих пір, поки не зрівняється лінійна швидкість відтяжних валиків зі швидкістю в'язання полотна. В подальшому процес відтягнення полотна здійснюється стабільно. Цей процес, як бачимо, встановлюється автоматично. Величина зусилля відтягнення полотна регулюється за допомогою положення вантажу 25 на направляючій 24.

Наявність двопоточного лобового фрикційного варіатора дозволяє розподілити потужність, що передається відтяжним валикам 1, 2, 3, на два потоки: перший потік вертикальний приводний вал 13 – коток 10 – диск 9; другий потік вертикальний приводний вал 13 – зубчаста передача 20 – проміжний вал 16 – коток 11 – диск 9 та автоматично змінювати частоту обертання ведучого відтяжного валика 1 таким чином, що швидкість відтягнення полотна 26 залишається сталою. Також сталою залишається і сила натягу полотна 26 при його відтягненні, оскільки сила тертя в зоні притиску котків 10, 11 до диску 9 також залишається сталою (притиск котків 10, 11 до диску 9 здійснюється за допомогою пружини 12 зі сталою силою).

В разі зношення робочих поверхонь котків 10, 11 та диску 9, що має місце при роботі механізму відтягнення полотна, величина зношення компенсується можливістю переміщення рухомого кронштейна 19 з опорами 17, 18 і, відповідно, проміжного вала 16 з котком 11. Таким чином здійснюється надійний притиск котків 10, 11 до диску 9 незалежно від зношення їх робочих поверхонь.

Розміри робочих елементів варіатора знаходяться із умови їх контактної витривалості [3]:

$$d_1 = 240\sqrt[3]{\frac{\beta P E}{2\lambda\psi u_1 f n[\sigma_{пов}]^2}}, \quad (1)$$

де d_1 - діаметр ролика;

β - коефіцієнт запасу зчеплення ролика з диском;

P - потужність фрикційної передачі (варіатора);

E - приведений модуль пружності матеріалів ролика та диска;

λ - коефіцієнт, що враховує можливу нерівномірність передачі потужності двома потоками, $\lambda = 0{,}75$;

ψ - коефіцієнт ширини ролика, $\psi = \frac{b}{d_1}$;(2)

b - ширина ролика;

u_1 - мінімальне передаточне число варіатора;

f - коефіцієнт тертя пари ролик – диск;

n - частота обертання ролика;

$[\sigma_{max}]$ - допустиме контактне напруження в парі ролик – диск.

Необхідне передаточне число ланцюгової передачі u_2 та число зубів її зірочок Z_1, Z_2 (рис. 2) можемо знайти із залежності:

$$u_2 = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{u}{u_1} = \frac{n_ц}{n_{вт} \cdot u_1}, \quad (3)$$

де u - загальне передаточне число привода;

$n_ц$, $n_{вт}$ - частота обертання відповідно голкового циліндра машини та відтяжних валиків [2],

$$n_ц = \frac{60 v_ц}{\pi \cdot d_ц}; \qquad n_{вт} = \frac{60 q \cdot v_ц \cdot B}{\pi^2 \cdot d \cdot d_ц}; \quad (4)$$

$v_ц$, $d_ц$ - відповідно лінійна швидкість та діаметр голкового циліндра;

q - кількість в'язальних систем круглов'язальної машини;

B - висота петельного ряду полотна;

d - діаметр відтяжних валиків.

Стабільність зусилля відтяжки полотна можемо оцінити коефіцієнтом стабільності K:

$$K = \frac{F_{вт\,min}}{F_{вт\,max}}, \quad (5)$$

де $F_{вт\,min}, F_{вт\,max}$ - відповідно мінімальне та максимальне зусилля відтяжки полотна.

Враховуючи конструктивні особливості запропонованого механізму відтяжки полотна, можемо записати (рис. 2):

$$F_{вт\,min} = F_{вт} - F_n \frac{l_2}{l_1}; \; F_{вт\,max} = F_{вт} + F_n \frac{l_2}{l_1}, \quad (6)$$

де $F_{вт}$ - зусилля відтяжки полотна;

F_n - зусилля переміщення диска відносно ролика в процесі повороту рами;

l_1, l_2 - плечі відповідних сил).

Необхідне зусилля відтяжки полотна знаходиться із умови:

$$F_{вт} = F_k \cdot Z\,, \tag{7}$$

де F_k - сила натягу, що діє на одну петлю полотна при відтяжці;

Z - кількість петель полотна (кількість голок в голковому циліндрі).

Зусилля відтягнення полотна забезпечується необхідними параметрами механізму (вагою рами разом із відтяжними валиками, вантажем, їх розташуванням та іншим) і знаходиться із умови рівноваги механізму:

$$F_{вт} = \frac{F_p \cdot l_3 + F_н \cdot l_4 + F \cdot l_5}{l_1}\,, \tag{8}$$

де F_p - вага рами;

$F_н$ - сила накатки полотна, $F_н = F_i \cdot Z$;

F_i - сила натягу, що діє на одну петлю полотна при накатці його в рулон;

F - вага вантажу;

l_3, l_4, l_5 - плечі відповідних сил.

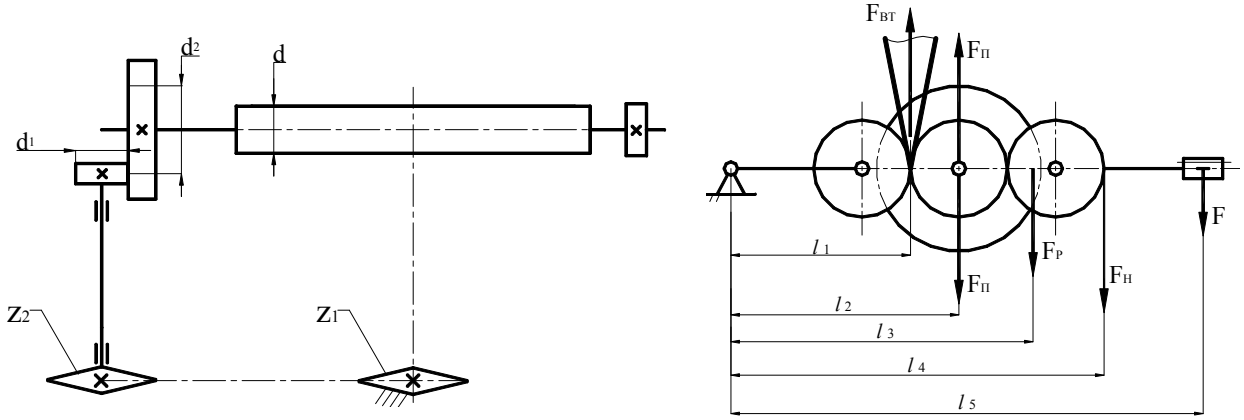


Рис. 2. Розрахункова схема механізму відтягнення полотна

Зусилля переміщення диска відносно ролика в процесі повороту рами згідно з [4] знаходиться із умови:

$$F_n = \frac{F_{тр}}{\sqrt{1 + \left(\frac{v_{ср}}{v_n}\right)^2}}\,, \tag{9}$$

де $F_{тр}$ - сила тертя фрикційної пари варіатора,

$$F_{тр} = \frac{F_{вт} \cdot d}{2\lambda d_2}\,; \tag{10}$$

d_2 – діаметр диска фрикційного варіатора;

$v_{ср}$ – середня швидкість геометричного ковзання робочих тіл варіатора,

$$v_{ср} = \frac{v_{max}}{2} = \frac{d_1 \cdot b}{2 \cdot d_2} \cdot \omega\,; \tag{11}$$

v_{max} – максимальна швидкість геометричного ковзання робочих тіл варіатора;

ω - кутова швидкість ролика;

v_n - швидкість переміщення диску,

$$v_n = \frac{\Delta d_2}{2 \cdot t} = \frac{\Delta l \cdot l_2}{t \cdot l_1}\,; \tag{12}$$

$\Delta d_2 / 2$ - переміщення диску,

$$\Delta d_2 / 2 = \Delta l \cdot \frac{l_2}{l_1}\,; \tag{13}$$

Δl - максимально допустима зміна довжини полотна за один оборот відтяжних валиків;

t – можливий час переміщення диска за один його поворот.

Використовуючи одержану методику, знайдемо робочі параметри механізму відтягнення полотна та ефективність його роботи (стабільність зусилля відтягнення полотна) при використанні його у складі однофонтурної круглов'язальної машини КО-2 з діаметром голкового циліндра $d_ц = 450 мм$, для якої [5]:

$Z = 1224$; $q = 50$; $v_ц = 1{,}1$ м/с; $B = 1$ мм; $F_{вт} = 183{,}6$ Н; $F_н = 36{,}72$ Н; $d = 50$ мм.

При цьому, враховуючи конструктивні особливості лобового фрикційного варіатора механізму відтяжки полотна, приймаємо: $\beta = 1{,}5;\ E = 2{,}15 \cdot 10^5\ МПа;\ \psi = 0{,}2;\ u_1 = 2;\ f = 0{,}15;\ [\sigma_{пов}] = 800\ МПа$.

Потужність варіатора знаходимо із умови: $P = \dfrac{F_{вт} \cdot v_{вт}}{\eta} = \dfrac{183{,}6 \cdot 0{,}0389}{0{,}8} = 8{,}92\ Вт$,

де $v_{вт} = \dfrac{q \cdot v_ц \cdot B}{\pi \cdot d_ц} = \dfrac{50 \cdot 1.1 \cdot 1}{\pi \cdot 450} = 0{,}0389\ м/с$ [1]; $\eta = 0{,}8$ - ККД варіатора.

Знаходимо частоту обертання ролика варіатора, використовуючи вираз (4):

$$n = n_{вт} \cdot u_1 = \frac{60 \cdot 50 \cdot 1{,}1 \cdot 10^3 \cdot 1}{\pi^2 \cdot 50 \cdot 450} \cdot 2 = 29{,}72\ об/хв\ .$$

Тоді згідно з (1) маємо:

$$d_1 \geq \sqrt[3]{\frac{1{,}5 \cdot 8{,}92 \cdot 10^{-3} \cdot 2{,}15 \cdot 10^5}{2 \cdot 0{,}75 \cdot 0{,}2 \cdot 2 \cdot 0{,}15 \cdot 29{,}72 \cdot 800^2}} = 28{,}53\ мм\ .$$

Враховуючи одержаний результат, приймаємо такі параметри варіатора: $d_1 = 30$ мм; $d_2 = 60$ мм; $b = 6$ мм.

Оскільки ланцюгова передача приводу механізму відтяжки полотна тихохідна можемо прийняти [3]: $Z_1 = 11$. Тоді згідно з (3) маємо:

$$Z_2 = \frac{n_ц \cdot Z_1}{n_{вт} \cdot u_1} = \frac{46{,}68 \cdot 11}{14{,}86 \cdot 2} = 17\ .$$

Знаходимо зусилля переміщення диска відносно ролика в процесі повороту рами. З цією метою, враховуючи, що $\omega = \dfrac{\pi \cdot n}{30} = \dfrac{\pi \cdot 29{,}72}{30} = 3{,}11\ c^{-1}$; $t = \dfrac{60}{n_{вт}} = \dfrac{60}{14{,}86} = 4{,}037\ c$ та прийнявши $\Delta l = 0{,}1\ мм$; $l_1 = 250$ мм; $l_2 = 275$ мм, із залежностей (10) – (12) маємо:

$$F_{тр} = \frac{183{,}6 \cdot 50}{2 \cdot 0{,}75 \cdot 60} = 102\ Н;\ v_{ср} = \frac{30 \cdot 6 \cdot 3{,}11}{2 \cdot 60} = 4{,}66\ мм/с;\ v_n = \frac{0{,}1 \cdot 275}{250 \cdot 4{,}037} = 0{,}0272\ мм/с\ .$$

Підставивши одержані результати в вираз (9), знаходимо необхідне зусилля переміщення диска відносно ролика в процесі повороту рами: $F_n = 0{,}59$ Н. Тоді коефіцієнт стабільності зусилля відтяжки полотна K, що його забезпечує запропонований механізм відтягнення полотна, згідно з (5), (6) буде дорівнювати:

$$K = \frac{183{,}5 - 0{,}59 \cdot \dfrac{275}{250}}{183{,}6 + 0{,}59 \cdot \dfrac{275}{250}} = 0{,}99\ .$$

Висновки. Аналізуючи результати досліджень, можемо зробити наступні висновки:

- конструкція запропонованого механізму відтягнення полотна, працездатна, надійна та ефективна в роботі;
- використання запропонованого механізму відтягнення полотна у складі круглов'язальної машини дозволяє підвищити надійність та довговічність роботи як самого механізму, так і якість трикотажного полотна;
- запропонований механізм відтягнення полотна та метод вибору його параметрів може бути використана не тільки для круглов'язальних, а і для інших типів в'язальних машин.

Література

1. Гарбарук В.Н. Проектирование трикотажных машин / Гарбарук В.Н. – Л. : Машиностроение, 1980. – 472 с.

2. Піпа Б.Ф. Механізми відтяжки та накатування полотна круглов'язальних машин / Б.Ф. Піпа, О.М. Хомяк, О.Ю. Олійник. – К. : КНУТД, 2009. – 234 с.

3. Піпа Б. Ф. Деталі машин : підручник / Б. Ф. Піпа, О. М. Хомяк, А. І. Марченко. – К. : КНУТД, 2011. – 358 с.

4. Пронин Б.А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи (вариаторы) / Б.А. Пронин, Г.А. Ревков. – М. : Машиностроение, 1967. – 404 с.

5. Машины кругловязальные типа КО-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Черновцы, 1992. – 86 с.

Рецензія/Peer review : 23.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н. Місяць В.П.

УДК 677.11.21

Д.Г. КРУГЛИЙ, К.М. КЛЕВЦОВ
Херсонський національний технічний університет

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОДЕРЖАННЯ ШТАПЕЛЬОВАНОЇ ЦЕЛЮЛОЗОВМІСНОЇ ЛУБ'ЯНОЇ СИРОВИНИ

В роботі теоретично обґрунтована нова концепція механічної переробки луб'яних культур та отримання на їх основі штапельованих волокон з заданими кінцевими якісними характеристиками за рахунок зміни характеру механічних впливів на початкових етапах первинної обробки, встановлено механізми дій при руйнуванні зв'язків елементарних волокон та розроблено теоретичні основи створення технології комплексної переробки луб'яного стебла.

Ключові слова: короткоштапельне волокно льону та конопель.

D. KRUGLYJ, K. KLEVTSOV
Kherson National Technical University

THEORETICAL GETTING BASES OF STAPLE CELLULOSE-CONTAINING BAST RAW MATERIALS

We justify the new concept of mechanical processing of bast crops and produce on their basis filaments with desired final quality characteristics due to the changing nature of mechanical stress in the early stages of primary processing, established mechanisms of action in the destruction of relationships filaments and developed the theoretical basis for the creation of technology of complex processing of bast stem. This will get the bast fibers of the flax and hemp corresponding functionality by separating their technical systems and cleaning filaments with new mechanical effects. Based on the established mechanism of stapling, the allocation of bonfires and the breaking of technical bast beams, new methods for processing stems are proposed, based on controlled grinding and cleaning processes, which contribute to the destruction of the integrity of the stems and increase the degree of its peeling.

Keywords: filaments of flax and hemp.

Вступ

На сьогоднішній день класична технологія первинної обробки луб'яних волокон стверджує, що завдяки відмінності поставлених завдань, засоби для їх виконання повинні бути принципово різними. Порушення сил, що зв'язують кострицю з волокном, може бути здійснено за рахунок додаткових сил натягу волокон представлених на рис. 1.

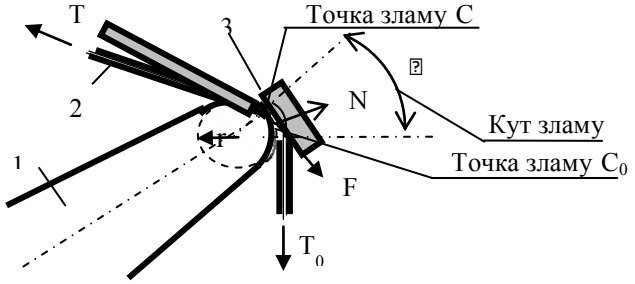


Рис. 1. Схема силової моделі взаємодії рифлю вальця з волокном та кострицею: 1 – рифель вальця; 2 – пасмо волокна; 3 – костриця

За схемою (рис. 1), на якій представлено силову модель зламу елементарної костринки (3), взаємодія знизу з крайкою рифлю вальця (1) відбувається за лінією CC_0. Жорстка незламна костринка пов'язана з пасмом волокна (2), має на своїх кінцях натяг TT_0. Натяг діє під кутом φ у напрямку до лінії зв'язування CC_0, тому в точках зламу C і C_0 відбувається руйнування зв'язку волокна з кострицею за рахунок їх різного коефіцієнта розтягування.

При цьому необхідно зазначити, що порушення зв'язків волокна з кострицею в розглянутому випадку має перевагу в порівнянні з відомими способами, так як порушення зв'язку відбувається одночасно лише в одній точці C або C_0, тоді як сили інерції (F), відцентрові сили (N) та ін. будуть відривати костринку від волокна, додатково долаючи силу зчеплення за всією лінією зв'язування CC_0. Порушення лінії зв'язування призведе до нейтралізації додаткових сил натягу волокон [1].

Аналіз останніх досліджень

Операція зламу характерна для процесу м'яття – це є головною відмінністю від процесу тіпання, при якому злам, як правило відсутній. Звідси можна зробити висновок, що, використовуючи для аналізу процесу м'яття луб'яну сировину, що послужила сировиною для аналізу процесу тіпання, не можна буде досягти повного висвітлення процесу м'яття, так як основна операція цього процесу – злам – не може бути відображений в аналізі тіпання. В іншому обидва процеси декортикації якісно подібні один одному [2].

При процесі м'яття нерухома за відношенням до обробляючих крайок рифлю точка A пасма лежить спочатку траєкторії руху крайок, поблизу лінії OO_1, що з'єднує центри вальців (рис. 2).

Формулювання цілей

На основі аналізу проведених теоретичних досліджень відносного руху пасма волокна в робочій зоні крайок рифлених вальців нами була проведена спроба уніфікувати процеси м’яття, тіпання і штапелювання використовуючи модернізовану м’яльну частину куделеприготувального агрегату КПАЛ.

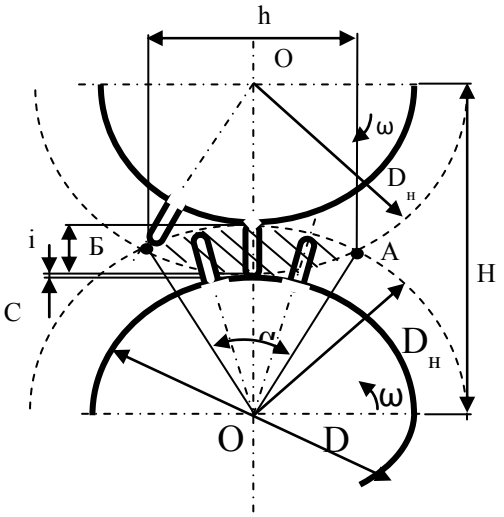


Рис. 2. Традиційна схема взаємодії крайки рифлю з пасмом волокна в процесі м’яття

Виклад основного матеріалу

У представленій роботі розглядаються питання зміни природи механічних дій на первинних етапах обробки луб’яної сировини. Вони пов'язані з відмовою від класичної теорії м’яття, де в основу було закладено максимальне збереження луб’яної частини стебла та часткове відокремлення костриці.

Для вирішення питань, пов’язаних з одержанням подрібненого лубу, в якості прототипу, нами було використано м’яльну частину кудулеприготувального агрегату КПАЛ, яка дозволяє максимально ефективно здійснювати порушення зв’язків між луб’яною та деревинною частинами стебла.

В модернізованій м’яльній частині КПАЛ було запропоновано змінити умови диференціації м’яття останньої м’яльної пари вальців, за рахунок зубчастого зчеплення, що дало змогу змоделювати процес тіпання та штапелювання на м’яльному обладнанні, та призвело до керованого подрібнення пром’ятого сирцю за рахунок збільшення інтенсивності обробки, вводячи до процесу м’яття додаткові сили, які характеризують процес тіпання (рис. 3).

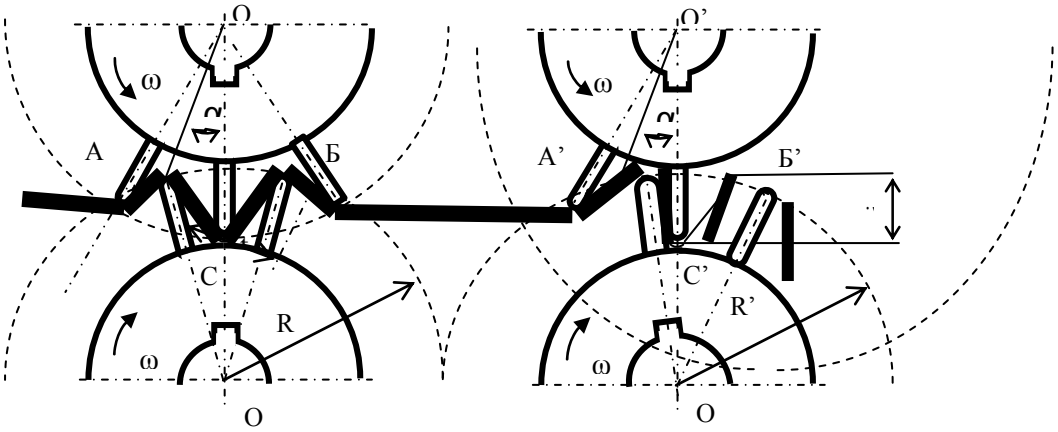


Рис. 3. Схема взаємодії рифлів м’яльних вальців з шаром пром’ятого сирцю

Для посилення процесу м’яття верхні вальці приводяться в обертання від нижніх не за допомогою шестерень, а завдяки зчепленню рифлів крізь шар оброблюваного матеріалу.

При використанні рифлених вальців, стебла проходять шлях ламаної лінії АСВ (рис. 3). Режим роботи м'яльної частини агрегату встановлюють залежно від фізичних властивостей оброблюваної сировини. Подрібнення волокнистої частини стебла здійснюється за рахунок сил тертя, які утворюються між рифлями в момент їх зчеплення А’В’С’. У цьому випадку штапельна довжина отриманого волокна відповідає глибині заходження рифлів (і) рубальних вальців, які регулюються в діапазоні від 5 до 1,5 мм.

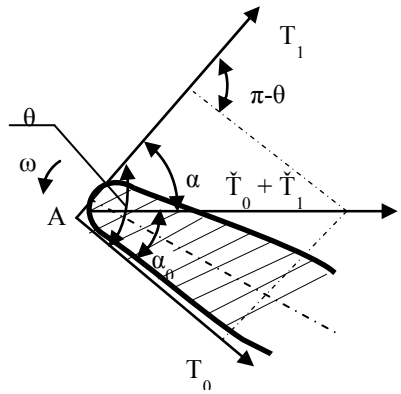


Рис. 4. Силова схема взаємодії крайки рубальних вальців з пасмом волокна в точці А

З огляду на той факт, що під час обробки пасмо може потрапляти в зону дії декількох рифлів (рис. 3), то вся ділянка охоплення їх пасмом може бути розділена на три зони вигину навколо крайок А, С і В. Таким чином, вирішивши завдання для окремої крайки (рис. 4) і підсумовуючи результати рішення для всіх крайок, ми зможемо розв’язати задачу про вплив сил тертя на натяг для всіх крайок рифлів рубальних вальців.

Виходячи з рис. 3, приймаємо, що:

$$N = \bar{T}_0 + \bar{T}_1 . \quad (1)$$

Чисельна величина цього виразу буде визначатися з рівняння:

$$N = \bar{T}_0 + \bar{T}_1 = T_0 \cos \propto_0 + T_1 \cos \propto_1 , \quad (2)$$

де $\propto_0$ та $\propto_1$ – кути, утворені векторами $\bar{T}_0$ u $\bar{T}_1$ з їх рівнодіючою *N*.

Отже:

$$\Delta T = \mu (T_0 \cos \propto_0 + T_1 \cos \propto_1) , \quad (3)$$

а так як $T_1 = T_0 + \Delta T$, маємо:

$$T_1 = T_0 + \mu (T_0 \cos \propto_0 + T_1 \cos \propto_1) , \quad (4)$$

У рівняння (4) входить три невідомих: T_1, $\propto_0$ та $\propto_1$, відповідно, для того, щоб величини: T_1, $\propto_0$ та $\propto_1$, мали певні значення, необхідно і достатньо скласти ще два рівняння, що не залежать від рівняння (4), що зв'язують між собою ці величини.

Згідно з законом взаємодії крайці рифлю з натягом в гілках пасма T_0 і T_1 маємо:

$$\propto_0 + \propto_1 = \theta ; \quad (5)$$

$$\frac{T_1}{T_0} = \frac{\sin \propto_0}{\sin \propto_1} , \quad (6)$$

у тому числі перше рівняння виражає собою залежність величин $\propto_0$ u $\propto_1$ від заданого кута між гілками пасма, що охоплює крайку θ, а друге взято з тригонометричного співвідношення елементів трикутника сил, утвореного натягом та їх рівнодіючою.

Вирішуючи систему рівнянь знайдемо:

$$\cos \propto_0 = \cos \frac{\theta}{2} \sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} - \mu \sin^2 \frac{\theta}{2} ; \quad (7)$$

$$\cos \propto_1 = \cos \frac{\theta}{2} \sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} - \mu \sin^2 \frac{\theta}{2} ; \quad (8)$$

$$T_1 = T_0 \frac{\sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} + \mu \cos \frac{\theta}{2}}{\sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} - \mu \cos \frac{\theta}{2}} \quad (9)$$

Таким чином, знаючи величини T_0, μ и θ завжди можна визначити величину T_1.

Отже, сила тиску між пасмом і крайкою проходить всередині кута θ, будучи наближеною до гілки, що збігає і має більший натяг T_1.

Величина:

$$\frac{T_1}{T_0} = \frac{\sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} + \mu \cos \frac{\theta}{2}}{\sqrt{1 - \mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} - \mu \cos \frac{\theta}{2}} = K, \quad (10)$$

визначає коефіцієнт наростання натягу на крайці, так як ця величина є множником для переходу від величини натягу в гілці пасма, що набігає T_0 до величини, що збігає з крайки гілки пасма – T_1. Коефіцієнт К показує, у скільки разів T_1 більше T_0. Знаючи величини θ і μ завжди можна визначити величину і напрям сили дроблення, так як можна визначити обидві її складові: тиск – N і силу тертя ΔT .

Визначення сумарного натягу сил тертя. На практиці модель прикладених сил на пасмо волокна представлена на рис. 5. В даному випадку на пасмо діє не одна, а дві тіпальні крайки, що стикаються з пасмом в точках A_1 і A_2. Припустимо, що натяг T_0 відомо, тоді використовуючи рівняння (9) визначимо:

$$T_1 = T_0 \frac{\sqrt{1-\mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} + \mu \cos \frac{\theta}{2}}{\sqrt{1-\mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} + \mu \cos \frac{\theta}{2}} K_1 T_0 ; \quad (11)$$

для точки A_2:

$$T_2 = T_1 \frac{\sqrt{1-\mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} + \mu \cos \frac{\theta}{2}}{\sqrt{1-\mu^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} - \mu \cos \frac{\theta}{2}} = K_2 T_1 = K_2 K_1 T_0 . \quad (12)$$

Якщо ми маємо *n* точок дотику, то отримаємо наступне рівняння:

$$T_n = K_n K_{n-1} \ldots K_2 K_1 T_0 . \quad (13)$$

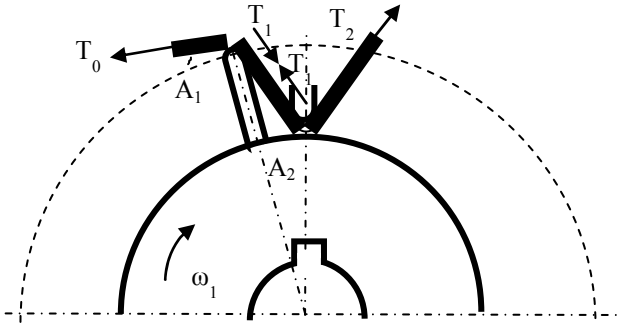


Рис. 5. Схема взаємодії двох рифлів вальця з пасмом волокна

Так як коефіцієнти К залежать тільки від величин μ і θ і не залежить від величини T_0, то при однакових μ і θ ми матимемо $K_1 = K_2 = \ldots = K_n$. У цьому випадку рівняння (13) прийме наступний вигляд:

$$T_n = K^n T_o . \quad (14)$$

Для одного і того ж пасма коефіцієнт тертя μ буде однаковим для різних точок за його довжиною, отже рівняння (14) буде застосовано для випадку відділення костриці декількома крайками одночасно при одному і тому ж вигині пасма на всіх крайках.

Розрахунок наростання напруги пасма на крайці рифлю. Всі перераховані вище обчислення базувалися на припущенні, що робоча крайка рифлю настільки мала, що тиск пасма вона сприймає в одній точці.

Нормальний тиск пасма на крайку нами приймалося рівним геометричній сумі натягу. Далі припустимо, що розміри крайки, гнучкість пасма і натяг настільки великі, що тиск пасма на крайку рифлю рівномірно розподілено за всьому периметру крайки, що має правильну циліндричну поверхню, то для визначення співвідношення між натягом в гілках пасма отримаємо наступне рівняння:

$$\frac{T_1}{T_0} = e^{\mu(\pi-\theta)} , \quad (15)$$

де T_1 – натяг в гілці пасма, що збігає;

T_0 – натяг в гілці пасма, що набігає;

e – основа натуральних логарифмів (2,7184);

μ – коефіцієнт тертя;

$(\pi - \theta)$ – кут охоплення пасмом крайки.

Для кращого розуміння застосовності рівняння (15) розглянемо малий елемент гнучкого зв'язку (рис. 6), що лежить на опорній поверхні і стягує кут Δφ, що є частиною всього кута охоплення.

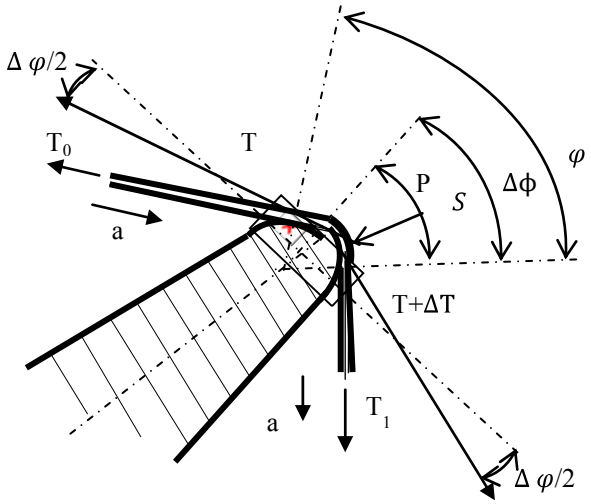


Рис. 6. Схема елементу жорсткого зв'язку між крайкою рифлю та пасмом волокна

Якщо жорсткий зв'язок, наприклад пасма луб'яних волокон, рухається опорною поверхнею в напрямку, зазначеному стрілками *a*, *a* та притому з настільки незначною швидкістю, що надають можливість знехтувати силами інерції (відцентровими), які розвиваються в елементах пасма при огинанні ними поверхні, то можемо розглядати окремий елемент пасма як тверде тіло, що знаходиться в рівновазі, отже проекції сил, прикладених до елемента, що діють в протилежні сторони, повинні дорівнювати один одному.

Нехай T – натяг на одному кінці елемента ΔS, T + T натяг на іншому її кінці, P – нормальний тиск елемента на опорну поверхню, μ – коефіцієнт тертя між тілом опорної поверхні і пасмом.

Спроектувавши сили, прикладені до елементу на напрямок дотичної, отримаємо:

$$\mathrm{T}\cos\frac{\Delta\varphi}{2}+\mu P=(T+\Delta T)\cos\frac{\Delta\varphi}{2}. \tag{16}$$

Провівши скорочення подібних членів, отримаємо:

$$\mu P=\Delta T\cos\frac{\Delta\varphi}{2}. \tag{17}$$

Спроектувавши сили на напрямок радіуса, отримаємо:

$$P=T\sin\frac{\Delta\varphi}{2}+(T+\Delta T)\sin\frac{\Delta\varphi}{2}=(2T+\Delta T)\sin\frac{\Delta\varphi}{2}. \tag{18}$$

Після підстановки P в (17) отримаємо:

$$\mu(2T+\Delta T)\sin\frac{\Delta\varphi}{2}=\Delta T\cos\frac{\Delta\varphi}{2}, \tag{19}$$

або

$$\Delta T=\frac{\mu(2T+\Delta T)\sin\frac{\Delta\varphi}{2}}{\cos\frac{\Delta\varphi}{2}}, \tag{20}$$

або

$$2\frac{\Delta T}{\Delta\varphi}=\frac{\mu(2T+\Delta T)\sin\frac{\Delta\varphi}{2}}{\cos\frac{\Delta\varphi}{2}\bullet\frac{\Delta\varphi}{2}}, \tag{21}$$

при Δφ → 0 отримаємо:

$$\lim_{\Delta\varphi\to 0}\left|\frac{\sin\frac{\Delta\varphi}{2}}{\frac{\Delta\varphi}{2}}\right|=1; \tag{22}$$

$$\lim_{\Delta\varphi\to 0}\left|\cos\frac{\Delta\varphi}{2}\right|=1; \tag{23}$$

$$\lim_{\Delta\varphi \to 0} |\Delta T| = 0\,; \tag{24}$$

звідки dT/dφ = μT, отже dT/T = μ · dφ.

Проведемо інтегрування цього рівняння в межах від T_0 до T_1 і відповідно від 0 до φ

$$\int_{T_0}^{T_1} \frac{dT}{T} = \mu \int_0^{\varphi} d\varphi\,; \tag{25}$$

звідки:

$$\ln T_1 - \ln \mathrm{T}_0 = \mu\varphi\,; \tag{26}$$

отже:

$$\ln \frac{T_1}{T_0} = \mu\varphi \, или \, \frac{T_1}{T_0} = e^{\mu\varphi}\,. \tag{27}$$

Якщо кут між гілками пасма позначити θ, то φ = π − θ. Підставляючи це значення φ в рівняння (27), отримаємо остаточний вираз:

$$\frac{T_1}{T_0} = e^{\mu(\pi-\theta)}\,. \tag{28}$$

Наростання напруги, що виражене рівнянням (15) більш ефективно описує процес тертя, ніж рівнянням (9).

Розглянемо спосіб для підсумовування натягу від сил тертя на декількох крайках м'яльних вальців виходячи з рівняння (15). Виходячи з умов взаємодії крайки рифлю м'яльних вальців з пасмом волокна (рис. 4) для визначення наростання напруги в точці А, маємо залежність: $\frac{T_1}{T_0} = e^{\mu(\pi-\theta_1)}$. Те ж саме для точки A_2 виглядає: $\frac{T_2}{T_1} = e^{\mu(\pi-\theta_2)}$, отже:

$$\frac{T_1}{T_0} \cdot \frac{T_2}{T_1} = e^{\mu(\pi-\theta_1)} \cdot e^{\mu(\pi-\theta_2)}.$$

Для *n* точок тертя можна записати наступне рівняння:

$$\frac{T_n}{T_0} = e^{\mu[n\pi-(\theta_1+\theta_2+\ldots+\theta_n)]}, \tag{29}$$

Якщо $\theta_1 = \theta_2 = \ldots = \theta_n$, то рівняння (29) прийме наступний вигляд:

$$\frac{T_n}{T_0} = e^{n\mu(\pi-\theta)}\,. \tag{30}$$

Висновки

Аналіз розробленої теоретичної моделі взаємодії пасма волокна з крайками рифлів рубальних вальців дозволив встановити, що пасмо волокна необхідно розглядати як пружний елемент, який має наведену масу. Застосування моделі при проектуванні обладнання для виробництва та очищення короткоштапельного луб'яного волокна і для дослідження цього процесу дозволить більш точно визначити раціональні параметри роботи пропонованої технології.

За допомогою рівняння (30) можна обчислити результативний натяг для рубальних вальців м'яльної машини при тих же значеннях, які були прийняті під час підрахунку результативного натягу за рівнянням (14).

Література

1. Ипатов А.М. Теоретические основы механической обработки лубяных культур / А. М. Ипатов. – М. : Легпромбытиздат, 1989. – 144 с.

2. Клевцов К.М. Визначення оптимальних технологічних параметрів декортикації луб’яної сировини / К.М. Клевцов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 5 (227). – С. 97–101.

Рецензія/Peer review : 31.1.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Чурсіна Л.А.

УДК 685.34.03

В.Л. МАРЧЕНКО
Хмельницький національний університет

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ ВЗУТТЯ

Стаття відноситься до області взуттєвого виробництва, точніше до характеристик міцності, довговічності та зносостійкості. Розглянуто матеріали верха та низу взуття – штучні та натуральні шкіри, резини. На основі відомих літературних даних проаналізовано наступні їх характеристики: межа міцності на розтяг, опір багаторазовому згину, показники зносостійкості та жорсткості. Враховуючи те, що ці характеристики пов'язані між собою та з іншими, наведено рекомендації щодо параметрів жорсткості деяких матеріалів. Виконаний аналіз дозволить здійснювати цілеспрямований вибір матеріалів взуття, які забезпечать його міцність та зносостійкість. Наведені рекомендації базуються на результатах експериментальних даних та досвіду використання взуття.

Ключові слова: характеристики міцності, довговічності та зносостійкості взуття, межа міцності на розтяг, опір багаторазовому згину, показники зносостійкості та жорсткості.

V.L. MARCHENKO
Khmelnytsky National University

COMPARATIVE ANALYSIS OF STRENGTH CHARACTERISTICS OF SHOES

The article relates to shoe production, precisely the characteristics of strength, durability and wear resistance. Considered Material top and bottom of shoes - artificial and natural leather, rubber. Based on the known literature data analysis of the following characteristics: tensile strength, resistance to repeated bending performance durability and rigidity. Given that these characteristics are interrelated and other parameters are recommendations for the rigidity of some materials. The analysis will allow for targeted choice of materials shoe that will ensure its strength and durability. The recommendations are based on experimental data and experience with shoes.

Keywords: characteristics of strength, durability and wear resistance of footwear, tensile strength, resistance to repeated bending performance durability and rigidity.

Вступ

Зниження матеріальних можливостей населення останнім часом призводить до того, що питання довговічності взуття набувають особливої актуальності і дещо можуть бути вирішені вибором відповідних матеріалів. В літературі важко знайти джерела, в яких були б сконцентровані відомості про їх характеристики міцності та зносостійкості. Звісно, ці питання не обділені увагою дослідників, але для зведення цих відомостей в одному документі, що і дає можливість здійснити обґрунтований їх вибір, необхідно витратити певний час. Виконання цих функцій і є задачею, поставленою в даній роботі.

Основна частина

Деталі взуття працюють в різних умовах і, тому, піддаються різним силовим впливам і мають відмінні критерії руйнування. Деталі верху взуття схильні до багаторазового вигину, розтягування і, в деякій мірі, зносу. Внаслідок розтягуючих зусиль, що виникають при носінні взуття, спрямованих то вздовж, то впоперек стопи в матеріалі на тканинній або волокнистій основі можуть спостерігатися зрушення нитки в структурі тканини, порушення зв'язку основи з лицьовим покриттям, дефекти лицьового покриття. При експлуатації взуття на матеріалі верху утворюються складки в поперечному напрямку. Залежно від властивостей матеріалів і від конструкції взуття величина складок різна і характеризується величиною радіуса їх кривизни: для тонких і еластичних матеріалів радіус кривизни становить 0,5-1 мм, для більш жорстких і товстих – до 5-10 мм. Напруження розтягу виникають в місцях з'єднання верху взуття з підошвою. Суттєвого зносу зазнають деталі верху і низу взуття. Все це призводить до необхідності аналізу відповідних механічних характеристик: межі міцності на розтяг, опору багаторазовому згину, показників зносостійкості.

Широке застосування в взуттєвої промисловості знаходять штучні матеріали. Однак великим недоліком штучних матеріалів є їх мала стійкість до багаторазових вигинів і тертя, особливо при низьких і підвищених температурах. За даними, отриманими на приладі для випробування на багаторазовий вигин з розтягуванням [1], натуральна хромова шкіра витримує не менше 2-2,5 млн циклів і річну інтенсивну носку. Штучні шкіри для верху хромового взуття за результатами цих досліджень давали значно гірші показники (300–500 тис.) і практично в закритому взутті не витримували більше 3-4 міс. інтенсивної носки без руйнування покриттів. Наведені значення свідчать про відсутність точної кореляції між дослідними даними та результатами носки. В дослідах натуральна шкіра дозволяє здійснювати в п'ять разів більше вигинів але тривалість носки більша лише в три рази.

Нанесення на шкіру відносно жорстких покриттів і підклейка шкіри тканиною зменшують стійкість шкіри до багаторазового вигину, при цьому на лицьовій поверхні шкіри при вигині утворюються грубі складки. Попередня витяжка шкіри як в поздовжньому, так і в поперечному напрямках також призводить до зменшення стійкості шкіри до багаторазового вигину.

Є можливість збільшити опір багаторазовому вигину шляхом введення в лицьове покриття армуючих сіток, при цьому кількість циклів на приладі до руйнування лицьового покриття досягає 2-3 млн. циклів. Однак носкість цих матеріалів в союзці ще не дорівнює несучості натуральної хромової шкіри.

Підвищення опору багаторазовому вигину істотно впливає на тривалість ношення штучних шкір. В роботі [2] наведені результати випробувань на багаторазовий вигин «гармошкою» ворситу з даними дослідної носки, які представлені на рис. 1. Як видно з графіка підвищення міцності на багаторазовий вигин в степеневій залежності призводить до підвищення довговічності взуття. При цьому контрольна хромова

шкіра витримувала в цих же умовах понад мільйон циклів без руйнування.

Величина межі міцності на розрив натуральних шкір залежить від цілого ряду чинників: виду і стану шкіряної сировини, характеру технологічних процесів (підготовчих операцій, дублення, оздоблення) [3]. Так, величина цього показника для шеврету 1-1,5 кгс/мм2; шевро 1,3-2,0, свинячих хромових шкір, шкір, вироблених зі шкур великої рогатої худоби хромовим і хром-рослинним дубленням 1,5-3,5 кгс/мм^2. Так як у виробах з шкір з неміцним лицьовим шаром виникають тріщини як в процесі їх виготовлення, так і при експлуатації, міцність лицьового шару при розтягуванні для хромових шкір і юхти не менше 2 кг/мм^2, шевро - 1,3, свинячих шкір - 1,6, шеврету - 1, юхти взуттєвої яловичої і конскої - 1,5 кг/мм^2. У табл. 1 наводяться дані про величини сили, що вимагається для розриву смужки шириною 10 мм і прориву кулькою з діаметром 10 мм різних видів шкір III класу [4].

Рис. 1. Результати випробувань на багаторазовий вигин ворситу з даними дослідного ношення

Таблиця 1

Порівняльні дані про характеристики міцності шкір III класу

Шкіра хромова	Сила при розриві, кгс		Сила при трісканні, кгс	
	при розтягуванні	при продавлюванні	при розтягуванні	при продавлюванні
опойок	29,2	83,6	23,9	60,1
виросток	32,9	98,2	24,6	60,0
Полушкірник	29,7	100,7	24,4	60,7
Кінська	23,8	63,8	19,1	46,5
Шеврет	25,5	74,0	15,4	43,7
Юхта	43,0	124,7	41,2	107,1

У таблиці 2 наведені результати випробувань на знос різних штучних матеріалів верху взуття [1].

Таблиця 2

Опір стиранню різних матеріалів для верху взуття

Матеріал	Втрата у вазі лицьового покриття, г / кВт · год	Ослаблення міцності після стирання, %
Лак штучний(ПВХ)	53	0,0
Опойок хромовий	37	0,6
Павинол на вельветоні	120-156	0,8
Шарголін	149-198	16,8
Ворсит	524-700	32,3

Стійкість матеріалів для верху хромового і юхтового взуття має велике значення. Спеціальними роботами виявлена пряма залежність між показником стійкості матеріалу для халяв взуття і їх зносом при ношенні, так як стійкість матеріалу визначає величину і кількість складок, від яких залежить швидкість появи і розмір потертості халяв. При підвищеній стійкості утворюються грубі складки, які зумовлюють швидку появу потертості на великій площі на гребенях складок. При занадто низькій стійкості халяви чобіт можуть «осідати». У ношенні під впливом багаторазових деформацій показник стійкості знижується на 50–70%. З огляду на цю обставину, рекомендується оптимальна стійкість матеріалів для халяв в межах 80-40 г. Фактична стійкість кирзи СК знаходиться в межах 80–100 г, шарголіна 70–90 г [1].

Для підошовної шкіри межа міцності при розтягуванні дорівнює 15 ... 50 МПа, а межа міцності при стисненні - 150 ... 350 МПа. Спостерігається сильне зменшення міцності при стисненні при зволоженому зразку, тоді як при розтягуванні межа міцності при зволоженні різко зростає.

У табл. 3 наводяться дані, отримані при випробуванні шкір різного дублення при сухому і мокрому піску на приладі А. І. Позняка [5].

З цих даних виходить, що шкіри в сухому стані зношуються значно повільніше, ніж у вологому стані. Крім того, під час випробування в сухому стані шкіри рослинного дублення виявилися за якістю вище, ніж хромового дублення. Шкіри по шарам мають різну швидкість стирання. Лицьовий шар і бахтармяний зношуються швидше, ніж середній. Так, в підошовних шкурах хромрослинного дублення товщиною 4,7 мм лицьовий шар в межах 1,3 мм і шар з бахтармяного боку в межах 1 мм зношується на 1 мм приблизно за 14 днів, а середній – на стільки ж за 45 днів і на окремих ділянках шкіри за 68 днів. Останній (бахтармяний) шар товщиною в 0,8 мм на знос не працює.

Таблиця 3

Зносостійкість підошовної шкіри на приладі А. І. Позняка (ч/мм)

Вид дублення шкіри	Сухий пісок при тиску, кгс			Мокрий пісок при тиску, кгс		
	7,5	15	30	7,5	15	30
Хромове	236	33,7	29,6	49,0	17,1	7,45
Хромрослинне	132	67,3	50,5	37,6	12,6	5,20
Рослинне	196	56,6	60,6	22,5	12,2	6,30

Гумові підошви відрізняються високою зносостійкістю, достатньою стійкістю до багаторазового вигину, подовженню. Так, якщо для зносу 1 мм товщини підошви з натуральної шкіри потрібно 25-30 днів, то для зносу 1 мм товщини кольорової гумової підошви – 50, чорної – 90 днів і більше. Однак гумові підошви поступаються шкіряним за межою міцності на розтяг, морозостійкістю, швидкістю старіння в процесі зберігання, викришуванню країв, міцністю тримання гвинта, теплопровідністю (непориста гума). Чисельні значення опору стирання різних підошовних гум з урахуванням їх типів нормуються в межах 700–1200 см3/кВт год [6]. Показник опору стирання гуми краще пов'язаний з носкістю, ніж у підошовної жорсткої шкіри, так як гума не змінює своїх властивостей під впливом вологи.

Мінімальний опір багаторазового вигину для всіх видів пластини і підошов непористих встановлено 15 000, для пористих – 25 000, для кожволону – 20 000.

Показник опору стирання гуми краще пов'язаний з несучістю, ніж у підошовної жорсткої шкіри, так як гума не змінює своїх властивостей під впливом вологи. Але все ж прямо він не може характеризувати порівняну носкість різних гум, які різко відрізняються за властивостями, так як на знос впливає їх розтяжність, твердість і здатність до амортизації. З табл. 4 видно, що при рівному опорі стиранню носкість вище у гум з меншою твердістю.

Таблиця 4

Зіставлення стиранням зі 100-відсотковим зносом чорних гумових

Опір стиранню, $см^3$/квт·ч	Твердість за ТМ-2	Число днів до появи 100-відсоткового зносу каблука
1515	87	79
1014	77	82
1128	71	86
950	88	92
917	77	96

Зносостійкість гуми по окремим її шарам на відміну від шкіри практично однакова, отже, знос йде з однієї і тієї ж швидкістю. Час зносу 1 мм товщини підошви для різних гум коливається в межах від 35 до 80 днів. Встановлено, що після зносу до певної товщини (1,25-1,50 мм) гумова підошва внаслідок стирання при ходьбі розривається (неробочий шар), що пояснюється її меншою міцністю, ніж шкіряною. Цю обставину слід враховувати при встановленні норми товщини для різних видів взуття.

Шкіроподібні гуми володіють високою зносостійкістю, що перевищує в 2-3 рази зносостійкість звичайної гуми [2]. Кожволон – новий вид гумової підошви з волокнистим наповнювачем добре імітує шкіру і перевершує її по зносостійкості в 2 рази.

Висновки. Зібрані числові характеристики механічних показників взуттєвих матеріалів дозволять здійснити їх вибір для підвищення довговічності взуття. Розглянуті матеріали низу та верха дають можливість застосувати їх доцільну композицію, яка забезпечить необхідний термін використання. Наведені дані можуть бути корисні виробникам і користувачам взуття.

Література

1. Механические свойства искусственных мягких кож. Часть 2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.otkani.ru/footwearmaterials/footweartextile/10.html
2. Механические свойства искусственных мягких кож. Часть 1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.otkani.ru/footwearmaterials/footweartextile/9.html
3. Кожи натуральные. Прочность кожи [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.otkani.ru /footwearmaterials/leathernatural/25.html
4. Физические и механические свойства кожи. Испытание кож III класса на продавливание шариком [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.otkani.ru/footwearmaterials/ leatherproperties/17.html.
5. Сопротивление кож истиранию [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.otkani.ru /footwearmaterials/leatherproperties/22.html
6. Механические и физические свойства обувной резины. Сопротивление резины истиранию [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.otkani.ru/footwearmaterials/rubberproperties/5.html

Рецензія/Peer review : 16.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією

УДК 687.17:620.193

Н.В. МИХАЙЛОВА
Східноукраїнський національний університет ім. В.Даля, м. Сєвєродонецьк
В.О. ПРИВАЛА
Хмельницький національний університет

АНАЛІЗ УМОВ ПРАЦІ РОБІТНИКІВ, ЯКІ ВИКОНУЮТЬ ОЧИЩЕННЯ ЗАКРИТИХ ЄМНОСТЕЙ ВІД ХІМІЧНО АГРЕСИВНИХ РЕЧОВИН

В статті проаналізовано шкідливі умови роботи працівників вітчизняних підприємств, які займаються обслуговуванням ємностей хімічної, коксохімічної, нафтопереробної та інших галузей вітчизняної промисловості. Визначено основні робочі рухи, які використовуються слюсарями при чищенні ємностей з виготовлення, зберігання та транспортування кислот, лугів та інших хімічно активних речовин.

Ключові слова: хімічна промисловість, закриті ємності, безпека життя, умови праці, захисний одяг, етапи проектування, шкідливі умови, агресивне середовище.

N.V. MIHAILOVA
Volodymyr Dahl Eastern National University, Severodonetsk
V.O. PRIVALA
Khmelnytsky National University

ANALYSIS CONDITIONS OF WORKERS PERFORMING CLEANING SEALED CONTAINERS FROM CHEMICALLY AGGRESSIVE SUBSTANCES

Traditionally, the first stage of the development process of any protective clothing is to determine the working conditions of employees, which is designed and custom clothing. Analysis of the operating conditions of the chemical industry workers who are engaged in service of capacities for production, storage and transportation of products in liquid, gaseous and aerosol form showed that they are carried in closed containers that differ in size and shape. In addition, these working conditions are classified as hazardous to human health and life. Therefore, it is the initial stage of designing protective clothing must thoroughly investigate and analyze the working conditions of workers performing cleaning closed containers of residues of chemical products. On the basis of these studies found that workers in the cleaning of closed containers in contact with the remnants of concentrated mineral acids, alkalis, ammonia and salt solutions of acid and alkaline nature. At the same time stay in disposable containers mechanics during the manufacturing operations of cleaning capacity is 30 minutes, and after a 10 minute rest in the fresh air, the cycle repeats. The results of research have provided important information necessary to determine the structural and technological features of future protective clothing that is designed for employees of the chemical industry. For instance, found that in the process of cleaning containers worker can use 11 labour movements that can be divided into three groups according to the complexity of their implementation. This must be taken into account when determining the design of protective clothing that is projected.

Keywords: chemical industry, closed containers, life safety, working conditions, protective clothing, stage design, bad conditions, aggressive environment.

Вступ

Незважаючи на досить високий рівень автоматизації технологічних процесів в хімічній промисловості, контакт людини з агресивними речовинами і сполуками, що приводить до травм, смертей і професійних захворювань, можливий. Посилення ступеня впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів (НШВФ) спостерігається там, де в силу технічних і технологічних особливостей, роботи проводяться із залученням морально застарілого обладнання, використанням низької якості сировини, недостатньо герметичних апаратів, великий відсоток ручної праці та інше. До числа таких потенційно небезпечних об’єктів можна віднести спеціальні склади, сховища, а також закриті ємності хімічної, коксохімічної, нафтопереробної та інших галузей промисловості, за допомогою яких тимчасово зберігають або транспортують сировину та готову продукцію [1]. Асортимент зазначених речовин, а також способи їх зберігання і перевезення, можуть бути різноманітними. Однак найбільший інтерес, з точки зору техніки безпеки і охорони праці, представляють такі великотоннажні за обсягом випуску агресивні речовини, як мінеральні кислоти, аміак, луги, а також сольові розчини на їх основі [2–5]. Дія зазначених агресивних речовин на підприємствах хімічної галузі може спричиняти не тільки травми і хімічні опіки, а й привести до летальних наслідків.

На підприємствах хімічної промисловості, питання забезпечення спеціальним одягом для захисту від агресивних чинників, завжди є актуальним. Це пов’язано з постійним розвитком хімічної промисловості та створенням нових сполук і матеріалів. Особливо гостро відчутна нестача спеціалізованого спецодягу, який потребують працівники, що виконують чищення ємностей різних геометричних форм і об’ємів, безпосередньо призначених для проведення технологічних процесів, зберігання і транспортування хімічної продукції [6]. Для нормальної експлуатації хімічних ємностей на кожному хімічному підприємстві є бригади слюсарів та апаратників, які в присутності газорятувальників постійно проводять регламентні і ремонтні роботи, підготовки ємностей до прийому і транспортування, а також очищення від залишків хімічної продукції.

Постановка задачі

Традиційно, першим етапом процесу розробки будь-якого захисного одягу, є визначення умов

роботи працюючих, для яких і проектується спеціальний одяг [7, 8]. Особливістю цих умов роботи є те, що вони виконуються у закритих ємностях, які різняться між собою розмірами і формами. Тому, саме на початковому етапі проектування захисного одягу необхідно всебічно дослідити і проаналізувати умови роботи робітників, які виконують очищення закритих ємностей від мінеральних кислот, лугів, окислювачів, розчинів солей, аміаку тощо.

Викладення основного матеріалу

Тимчасове зберігання і транспортування рідких хімічних речовин, можуть бути різними і залежать в першу чергу від їх фізико-хімічних, пожеже небезпечних, термодинамічних і інших властивостей. Існуючі методи зберігання і транспортування об'єднують такі інженерно-технічні споруди, як заводські, перевалочні, залізничні та інші склади, резервуари, цистерни, танкери, які можна віднести до типових наявними на кожному підприємстві зазначених галузей промисловості. Так, як приклад, можна навести способи, що застосовуються для зберігання і транспортування рідкого аміаку, які є аналогічними по відношенню до інших продуктів. Наприклад, згідно з чинними технологічними режимами, інструкціями і розпорядженнями, рідкий аміак зберігають у різного виду складах, резервуарах і сховищах під надлишковим тиском від 0,002 Мпа до 2,0 Мпа при різних температурах. Залежно від тиску і температури (від + 500 ^{0}С до – 300 ^{0}С), ємності, в яких зберігається аміак, мають різні конструкції, а їх місткість і кількість залежить від призначення. Наприклад, якщо аміак зберігається на перевалочних складах в портах, то сумарна їх місткість повинна бути рівною місткості трьох найбільших танкерів, але не більше 130,5 тисяч тонн, а тому кількість горизонтальних резервуарів при цьому має бути близько 20 штук, кульових – 8 штук , а вертикальних – 4 штуки [5].

Перевезення хімічних речовин здійснюється автомобільним, залізничним і морським транспортом (цистерни, танкери, рефрижератори, контейнери, спеціальні апарати, балони, судини Дюара). Технічно цей процес відноситься до складних і небезпечних. Тому ємності, які використовують для зберігання і транспортування хімічних речовин (сировина, готова продукція), постійно знаходяться під особливим наглядом і контролем спеціальних підрозділів хімічних підприємств, залізниці та морських портів. В результаті цих заходів, ємності піддаються постійному огляду, ремонту та очищенню від забруднень. Однією з найбільш трудомістких робіт вважається їх очищення від забруднень і за класифікацією відносять до категорії «середньої тяжкості» і «важкої». Залежно від вмісту кисню в ємності їх відносять також до газонебезпечних об'єктів і, відповідно до класифікації, поділяють на три групи небезпеки: 1 група – менше 16%; II група – до 16% і III група – до 19% кисню. Крім того, якщо врахувати, що роботи проводяться цілодобово при різних температурних режимах навколишнього середовища, фізичних і психологічних навантаженнях, наявністю агресивних середовищ, складного рельєфу внутрішньої поверхні ємності та інше, то стає очевидним, що засоби індивідуального захисту працюючого повинні бути надійними за фізико-механічними показниками, ізолюючими за способом захисту і ефективними за функціональним призначенням.

Аналіз умов праці апаратників, їх помічників, а також слюсарів та інших категорій робітників, зайнятих ремонтом і очищенням закритих ємностей, призначених для зберігання і транспортування сировини та готової продукції, були проведені на двох найбільших сучасних вітчизняних підприємствах: ВАТ «Краситель» (м. Рубіжне) та ЗАТ «Сєвєродонецьке об'єднання «Азот». В результаті встановлено, що зазначений процес відноситься до складних і складається з наступних технологічних операцій: аналіз повітря в ємності для визначення його хімічного складу, наявності кисню і газоподібних ОВПФ; відкачка залишків мінеральної кислоти (сірчаної, соляної, азотної, фосфорної), лугів (гідроксиди натрію і калію), розчинів солей; ручне прибирання ємності від механічних забруднень мінерального походження; промивка ємності водою (гаряча, холодна), нейтралізуючими розчинами, а також пропарювання гострою парою, продування повітрям і відкачка залишків води і конденсату. Проведений аналіз показав, що умови праці характеризуються незручностями, викликаними замкнутим об'ємом, складним рельєфом внутрішньої поверхні ємностей, наявністю допоміжного обладнання та інструменту у працюючого, недостатньою освітленістю, присутністю залишків токсичних речовин, що позначається на самопочутті та працездатності персоналу. Крім того, необхідно відзначити також, що при виконанні робіт в закритих ємностях, обслуговуючий персонал, на підставі практики і конструктивних особливостей ємностей (прямокутна, сферична, тороподібна та ін.) використовує основні робочі положення, яким відповідають ті чи інші рухи частин тіла слюсаря (таблиця 1).

Проведені дослідження показали, що при очищенні закритих ємностей в режимі «30 хвилин робота і 10 хвилин відпочинок», кількість найбільш характерних робочих рухів дорівнює 11-и. Цим рухам відповідають 11 робочих поз, які за ергономікою відрізняються одна від одної. Ці відмінності характеризуються динамічністю роботи працівника в кожному з положень і тривалістю часу, протягом якого робітник його займає. Результати, отримані на підставі спостережень і контролю за 10 робітниками протягом 30 робочих змін, дають можливість стверджувати, що найбільш поширеними робочими положеннями є перші сім (таблиця 1, пози № 1–7). Про це свідчить також розрахунок середнього значення часу, необхідного для виконання конкретної роботи в ємності при зайнятій позі. Так, наприклад, стоячи з піднятими вгору руками (поза № 9), які можуть сходитися (або перехрещуватися), робітник може перебувати лише 110 секунд (6,1%) від 1800 секунд максимально допустимого часу одноразового

перебування в ємності. При цьому саме ця поза виявилася найбільш енергетично напруженою, а тому визначена домінуючою над іншими.

Таблиця 1

Схеми і характеристики ергономічної фотографії робочих рухів слюсаря з очищення закритих ємностей

Умовне позначення робочого руху (схема, номер пози)	Характеристика динамічної пози відповідного руху	Середня витрата часу для виконання технологічної операції при режимі: 1800 с – робота; 600 с – відпочинок	Порівняльна характеристика витрати часу для виконання робочого руху при зазначеному режимі, %
1	2	3	4
1	Корпус знаходиться в горизонтальному положенні, лікті і коліна знаходяться на підлозі	260	14,4
2	Положення сидячи навприсядки, руки зігнуті в ліктях і витягнуті вперед	257	14,3
3	Положення стоячи на колінах, руки зігнуті в ліктях і витягнуті вперед	252	14,0
4	Повний нахил тулуба вперед, голова нахилена вниз, ноги зігнуті в колінному суглобі, руки опущені вниз	216	12,0
5	Рука зігнута в ліктьовому суглобі під кутом 90º, передпліччя і кисть руки спрямовані вперед	161	9,0
6	Руки горизонтально витягнуті вперед, долоні сходяться одна з іншою	144	8,0
7	Рука зігнута в ліктьовому суглобі під кутом 90º і знаходиться в вертикальній площині	124	6,8
8	Корпус нахилений вперед під кутом 30º до вертикалі, руки трохи зігнуті в ліктях і витягнуті вперед	121	6,7
9	Руки підняті вгору і сходяться одна з іншою	110	6,1

Продовження табл. 1

1	2	3	4
10	Корпус нахилений від вертикалі на кут 30º вперед, ноги розставлені на широкий крок, руки зігнуті в ліктях, витягнуті вперед	80	4,5
11	Ходьба	75	4,2

На виконання технологічної операції в положенні «стоячи на колінах з руками, зігнутими в ліктях і витягнутими вперед» (таблиця 1, поза № 3), необхідно затратити 252 с, що становить 14,0% від встановленого основного часу разового перебування в ємності. Найбільш складним робочим рухом вважається динамічна поза № 1, при якій робітник виконує операції з очищення від забруднень стоячи одночасно на колінах і ліктях протягом 260 с (14,4%). До таких же складних і енергетично напружених робочих рухів слід віднести ті, які виконуються в динамічних позах № 2 і № 4, оскільки за 1800 с перебування в ємності, слюсар протягом 257 с (14,3%) і 216 с (12,0%) відповідно знаходиться в зазначених положеннях (таблиця 1). За часом менш напруженими є пози № 5, № 6, № 7 та № 8, які застосовуються рідше, однак за динамічністю їх не можна віднести до простих.

Висновки

На підставі проведених досліджень встановлено, що робітники в процесі очищення закритих ємностей контактують із залишками концентрованих мінеральних кислот, лугів, аміаку, а також розчинів солей кислотного та лужного характеру. При цьому час одноразового перебування в ємності слюсарів під час проведення технологічних операцій з очищення ємності дорівнює 30 хвилинам (1800 с), а після 10-хвилинного відпочинку на свіжому повітрі, цикл повторюється.

Аналіз результатів досліджень також показав, що в процесі проведення очищення слюсар може використовувати 11 робочих рухів, які можна умовно поділити на три основні групи відповідно до складності їх виконання. До першої групи віднесено чотири перших рухи (таблиця 1, пои № 1–4), які виконують у складно напружених і незручних динамічних позах. До другої групи відносять робочі рухи № 5, № 6 та № 7, які виконуються у позах середньої напруженості. До третьої групи доцільно віднести робочі рухи № 8, № 9, № 10 і № 11, які виконують в легко напружених позах (рис. 1).

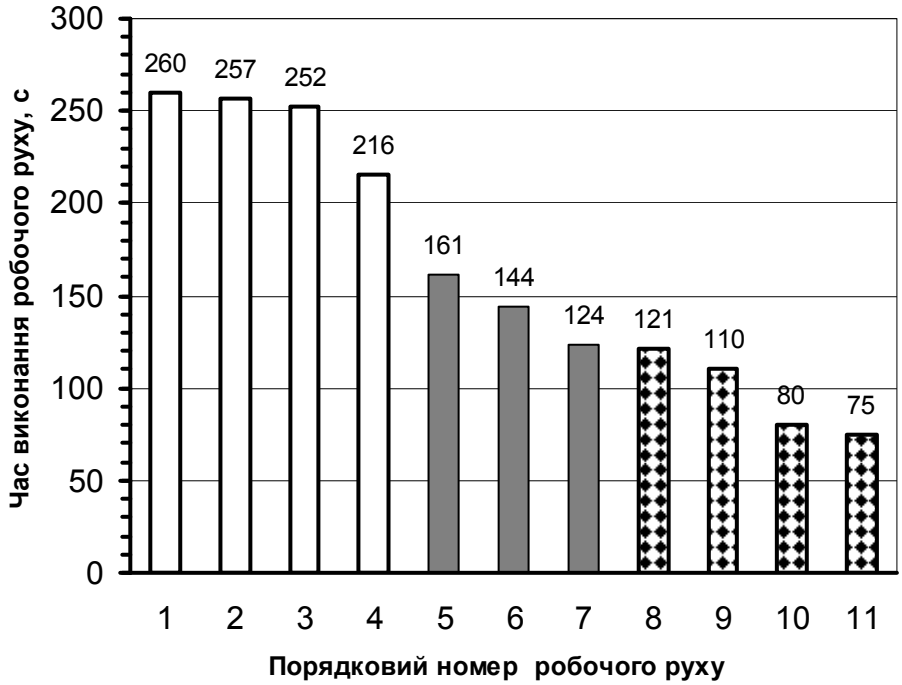


Рис. 1. Діаграма розподілу робочих рухів по групах складності залежно від часу на їх виконання при циклі роботи робітника «30 хвилин роботи і 10 хвилин відпочинку»

Оскільки перші чотири робочі рухи за час перебування в ємності застосовуються протягом 985 с (54,7%), то їх можна обґрунтовано віднести до основних (рис. 2).

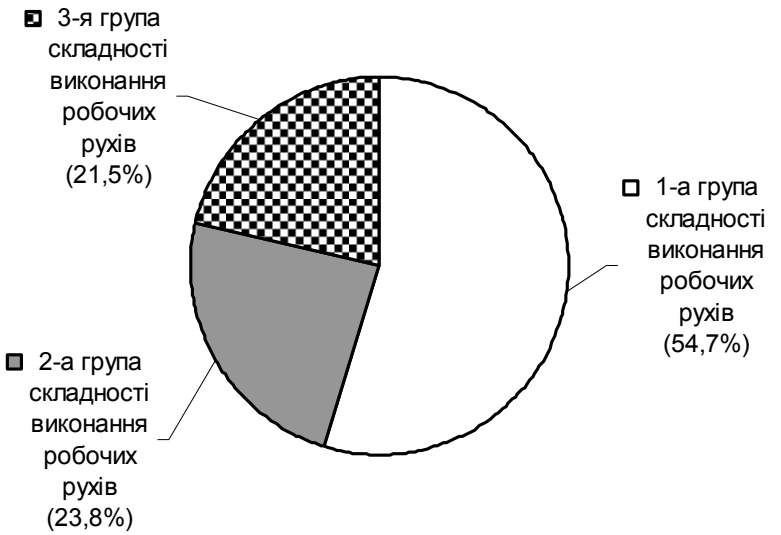


Рис. 2. Діаграма розподілу питомої ваги робочих рухів, які використовує робітника під час виконання роботи в режимі циклу «30 хвилин роботи і 10 хвилин відпочинку»

Отримані результати досліджень надали важливу інформацію, яка необхідна для визначення конструктивно-технологічних особливостей майбутнього захисного одягу, що проектується для робітників хімічної промисловості.

Література

1. Иванов Ю.А. Хранение и транспортировка жидкого аммиака / Иванов Ю.А., Стрижевский И.И. – М. : Химия, 1991. – 72 с.

2. Алелин А.Г. Производство серной кислоты / Алелин А.Г. – М. : Высшая школа, 1980. – 244 с.

3. Гладушко В.И. Производство серной кислоты / Гладушко В.И. – К. : Техніка, 1966. – 231 с.

4. Атрощенко В.И. Технология азотной кислоты / Атрощенко В.И., Каргин С.И. – М. : Химия, 1970. – 493 с.

5. Постников Н.Н. Термическая фосфорная кислота, соли и удобрения на ее основе / Постников Н.Н. – М. : Химия, 1976. – 336 с.

6. ГОСТ 12.1.005-76. ССБТ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Взамен ГОСТ 12.1.005-76 ; Введ. 01.01.89. – Изд-во стандартов, 1988. – С. 72.

7. Привала В.О. Класифікація методів забезпечення захисту одягу від води / В.О. Привала, А.А. Мичко // Вісник ТУП. – 2003. – С. 134–136.

8. Привала В.О. Проблеми проектування сучасного одягу з необхідними водо- і вітрозахисними властивостями / В.О. Привала, О.М. Сарана, А.А. Мичко // Вісник ХНУ. – 2008. – С. 198–200.

Рецензія/Peer review : 7.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: к.т.н., проф. Кущевський М.О.

УДК 004.912

О.В. БАРМАК, О.В. МАЗУРЕЦЬ, А.О. МАТВІЙЧУК
Хмельницький національний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ГНУЧКОГО ТЕСТУВАННЯ РІВНЯ ЗНАНЬ У СЕРЕДОВИЩІ MOODLE

В статті досліджено проблему підвищення ефективності тестування рівня отриманих знань із використанням комп'ютерних засобів. Запропоновано інформаційну технологію гнучкого тестування рівня знань, що формує репрезентативні набори тестових завдань та адаптивно обирає тестові завдання в процесі тестування. Представлено тестові програмні продукти, що реалізують запропоновану інформаційну технологію гнучкого тестування й дозволяють підтвердити її високу наукову та практичну цінність.

Ключові слова: тестування, тестові завдання, навчальні матеріали, Moodle, аналіз, ключові терміни.

O. BARMAK, O. MAZURETS, A. MATVIICHUK
Khmelnytskyi National University

APPLYING OF THE INFORMATION TECHNOLOGY OF THE FLEXIBLE TESTING OF KNOWLEDGE LEVEL IN MOODLE ENVIRONMENT

The problem of increasing efficiency of testing of the level of obtained knowledge with the help of computer technologies was researched in the article. Information technology of dynamic testing of knowledge level, which forms the representative set of tests and adaptively chooses test tasks was suggested. Test software products, which are implementing suggested information technology of flexible testing and prove it high scientific and practical value were reviewed.

Keywords: testing, test exercises, educational materials, Moodle, analysis, key terms.

Постановка проблеми в загальному вигляді

Вивчаючи певний предмет чи предметну область, людина отримує нові знання та навички, які є упевненим розумінням предмету, вміння самостійно поводитися з ним, розбиратися в ньому, а також використовувати для досягнення поставленої мети. Здобувши певні знання, виникає необхідність в визначенні їхнього рівня та компетентності людини в певній сфері [1]. Існує ряд методів для визначення рівня знань: попередній контроль, біжучий контроль, усна перевірка знань, письмова перевірка, практична перевірка, тестова перевірка. Останнім часом все більшої популярності набуває тестова перевірка знань, яка дає змогу об'єктивно оцінити рівень обізнаності особи в конкретній галузі [2]. Тестова перевірка включає в себе набір тестових завдань різної складності, що робить результат тестування більш об'єктивним. За допомогою ретельного конструювання тесту можна забезпечити відповідний рівень дискримінативності, а це саме те, в чому тести виграють у порівнянні з іншими формами визначення рівня знань. Проблемою визначається низька гнучкість сучасних автоматизованих систем оцінювання рівня знань при формуванні тестових вибірок.

Аналіз останніх досліджень

З розвитком комп'ютерних технологій і їх впровадженням в навчальний процес з'явився великий вибір систем для тестування рівня знань. Умовно всі системи можна поділити на онлайн-системи та системи-додатки, що встановлюються на комп'ютер користувача. Перевагою онлайн-систем є можливість працювати з ними з різних машин і централізовано проводити оновлення програмних алгоритмів. Однак для роботи необхідний постійний, стабільний доступ в Інтернет. Системи тестування, що є окремими додатками, дозволяють працювати без доступу в Інтернет, і це дозволяє забезпечити стабільнішу роботу програми й ставить менше вимог для її роботи. Проте такі системи складніші в обслуговувані, так як оновлення програмного продукту повинне бути здійснене для кожного комп'ютера на який така програма встановлена. Прикладами реалізованих систем для тестування рівня знань є система комп'ютерного тестування знань студентів OpenTEST [3], розроблена Харківським національним університетом радіоелектроніки, яка передбачає нелінійне проходження тесту з можливістю недискретного переходу між запитаннями, та система тестування Test-W2 [4], яка надає можливість проходження тестування з діагностикою й забезпечує різну послідовність запитань на сусідніх комп'ютерах. Втім, більшість існуючих систем тестування генерує тести, підбираючи й комбінуючи тестові завдання випадковим чином, що знижує гнучкість і інтерактивність процесу тестування.

Питанню підвищення адаптивності систем контролю знань присвячена велика кількість публікацій вітчизняних та закордонних авторів. Зокрема, автори [5] пропонують ряд моделей, за допомогою яких здійснюється зміна складності запитань у режимі реального часу, розглянуто технологію адаптивного визначення рівня підготовленості особи, що тестується. Розробці й удосконаленню методів, алгоритмів та технологій контролю знань присвячені роботи багатьох авторів, що досліджують проблеми автоматизованих систем навчання. Наприклад, автор [6] пропонує використання зважування понять моделі онтології для підвищення ефективності інтелектуального аналізу тесту, автори [7] розглядають моделі та методи адаптивного контролю знань, в роботі [8] розглядається модель побудови інтелектуальної системи автоматизованого контролю знань студентів вузів. Велика кількість публікацій та практична потреба в підвищенні гнучкості моделей та алгоритмів контролю рівня отриманих знань підтверджує актуальність

даної проблеми.

Прикладом онлайн-системи, що використовується для навчання та оцінювання, є Moodle – безкоштовна, відкрита система управління навчанням [9]. Вона реалізовує взаємодію між викладачами та учнями через мережу Інтернет. Система Moodle потребує постійного і стабільного підключення до Інтернету, цей фактор не дає змоги використовувати дану систему в місцях, де є проблеми з підключенням до Інтернету. Вона працює як серверна система і для забезпечення можливості одночасної роботи великої кількості користувачів потрібно мати потужний сервер, на якому вона буде запущена. Попри це, в класі онлайн-систем Moodle є достатньо ефективним та функціональним зразком програмного забезпечення (рис. 1). Недоліком її тестової складової є негнучкий метод випадкової генерації тестів, що при підборі запитання не враховує його складності та результати відповіді на попередні запитання. Така генерація тесту призводить до того, що різні учні отримують різний за сукупною складністю набір запитань, що ставить їх в нерівні умови і зменшує точність процесу тестування.

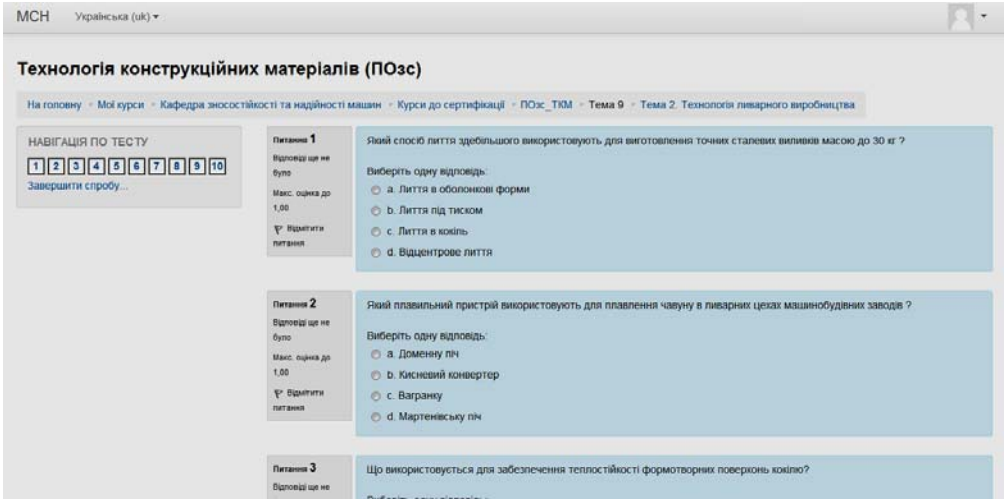


Рис. 1. Приклад проходження тесту у середовищі Moodle

Оскільки система Moodle є прийнятним і широковживаним зразком онлайн-системи, доречним є удосконалення її можливостей тестування в напрямку гнучкості й адаптивності до ходу тестування, а не розробка альтернативної системи тестування з перспективним алгоритмом. Для семантичного зв'язування тестових завдань із матеріалом, засвоєння якого перевіряється, авторами у попередніх роботах запропоновано метод їх прив'язки до онтології навчального матеріалу [10] через визначення й аналіз ключових термінів, що використовуються в контенті навчальних та тестових матеріалів [11].

Постановка задачі

Метою даної роботи є розробка інформаційної технології гнучкого тестування рівня отриманих знань та дослідження можливостей її застосування у середовищі Moodle.

Викладення основних матеріалів дослідження

Середовище Moodle надає інструменти для розробки курсів, можливість створення тестів різних типів, швидке та зручне їхнє редагування, автоматичне форсування тестів, перегляд результатів тестування та обрахунок статистичних даних по проведеному тестуванню. При генерації тесту можна вказувати необхідну кількість завдань, час проходження тесту, кількість спроб які може здійснити учень, час початку та кінця проведення тестування. Середовище Moodle надає можливість для створення окремих програмних блоків – плагінів, які інтегруються в систему та додають нові можливості. Розробка такого плагіну дозволяє надати гнучкості алгоритму вибору запитань для тестування, проте для онтоприв'язки тестових завдань до контенту навчального матеріалів необхідний окремий додаток. Окрім гнучкості самого процесу тестування, важливим аспектом коректної перевірки знань є репрезентативність самих завдань у тесті, база яких має бути структурно відповідною основним поняттям, що висвітлені у навчальних матеріалах.

У зв'язку з вище наведеним, було розроблено структуру інформаційної системи (рис. 2), призначеної для реалізації гнучкого методу тестування.

Автоматизована система для гнучкого тестування складається з двох основних складових, що відрізняються за типом роботи та метою застосування (рис. 3) – середовища розробки тестів «Semantic Test Serializer» й середовища гнучкого тестування, що містить плагін «Flexible Testing System». Проміжною ланкою тут виступає пакет тестових завдань у вигляді файлу *.xml. Цей файл формується за стандартами Moodle так, щоб він міг бути завантажений в це середовище стандартними засобами Moodle. Після завантаження ці запитання зберігаються в базі даних Moodle і можуть бути використані будь-якою системою тестування в рамках цього середовища.

Середовище розробки тестів складається з автоматизованої системи розробки тестів та бази даних навчальних курсів. *Автоматизована система розробки тестів* призначена для допомоги розробникові тестів та контролю за тим, щоб тестові завдання були збалансовані за типом запитання, рівнем складності та

рівномірно покривали предметну область, знання з якої належить перевірити.

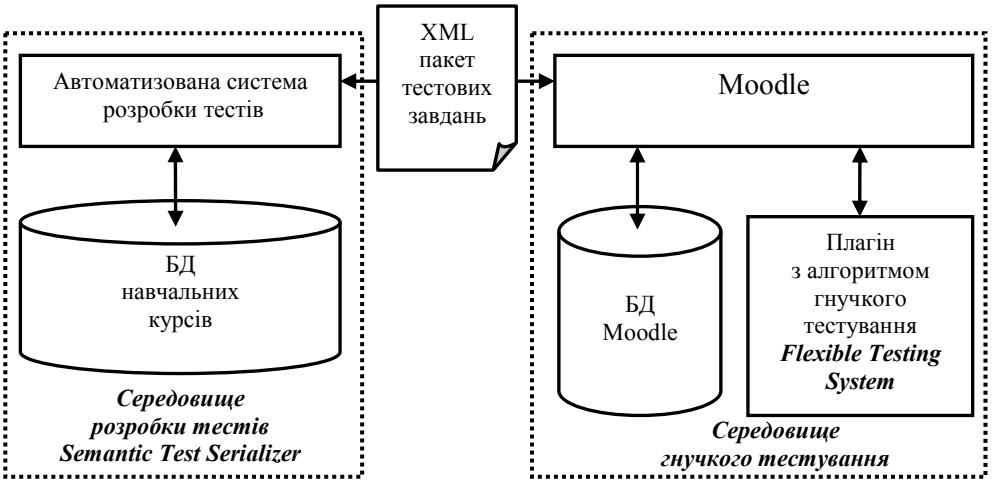


Рис. 2. Структура автоматизованої системи для гнучкого тестування

Семантична рівномірність покриття навчального матеріалу тестовими завданнями контролюється шляхом їх співставлення елементам структури навчального матеріалу, які формують онтологію навчального матеріалу. При цьому співставлення проводиться не з власне елементами онтології, а з ключовими термінами (поняття, визначення) в рамках структури навчального матеріалу, формуючи разом з нею повну онтологію [10] навчального матеріалу (рис. 4).

З семантичної точки зору, ключові терміни є найнижчим рівнем повної онтології навчального матеріалу. Їх особливістю є наявність властивості рівня прив'язки; адже поряд із термінами, що використовуються суто в рамках певних підтем, інші терміни можуть бути актуальними в масштабах тем, модулів, і навіть усього навчального матеріалу. Структура навчального матеріалу визначає місцезнаходження визначених термінів, але не включає їх безпосередньо. Для цього система розробки тестів за допомогою алгоритму аналізу текстів на базі дисперсної оцінки [11] визначає ключові терміни в заданому навчальному матеріалі та пропонує розробнику створювати запитання відповідно до цих термінів. Запропонована система є автоматизованим редактором тестових завдань, що дозволяє зберігати їх у Moodle-сумісному *.xml файлі, додаючи до обов'язкових властивостей тестових завдань дані про пов'язані терміни та оцінку складності. Інформація про пов'язані з тестовим завданням терміни відповідно до їх оцінки визначає глибину засвоєння відповідного матеріалу.

Рис. 3. Функціональна схема автоматизованої системи для гнучкого тестування

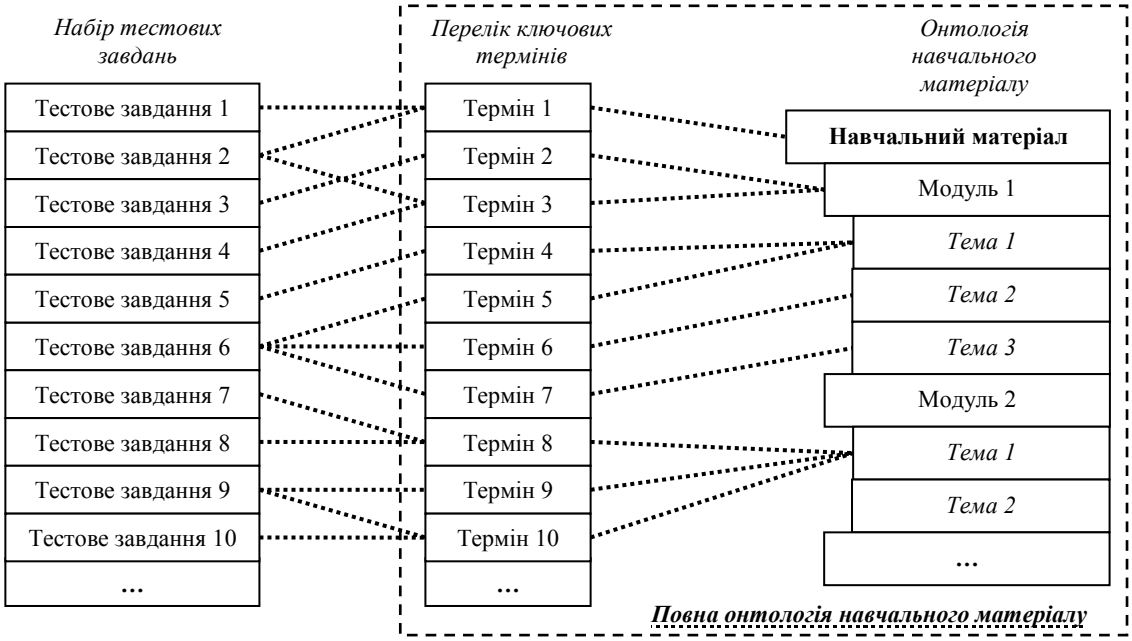


Рис. 4. Фрагмент повної онтології опису навчальної дисципліни

База даних навчальних курсів призначена для зберігання навчальних матеріалів, переліків термінів до них та тестових завдань з усіма властивостями, розробка яких проводиться. Запропоновано представлену на рисунку 5 даталогічну модель бази даних навчальних курсів.

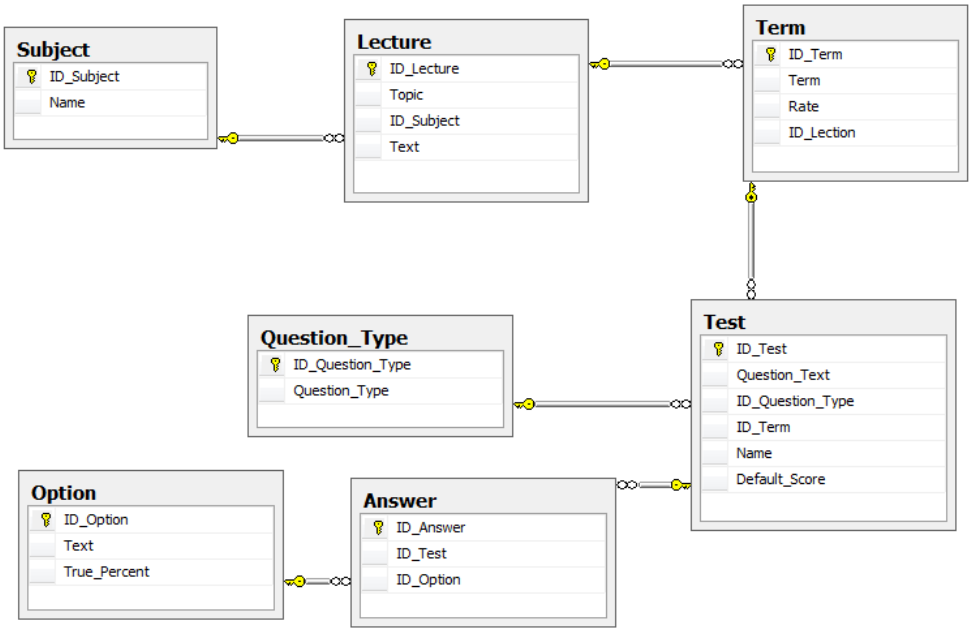


Рис. 5. Структура бази даних середовища розробки тестів

Наведена структура бази даних середовища розробки тестів призначена не тільки для збереження вхідних даних, а й даних проміжних етапів роботи. Так, таблиця «Subject» призначена для об'єднання групи лекцій за предметом, до складу якого вони входять, в одну структуру. Інформація про тему лекції та її контент зберігаються у таблиці «Lecture». Кожна з лекцій містить терміни, які студент повинен засвоїти, й розуміння яких відповідно слід перевірити тестом. Для збереження переліку цих термінів, їх відповідності певній лекції та рівня складності (що відповідає важливості терміна в рамках лекції) використовується таблиця «Term». В процесі роботи з даним модулем користувач створюватиме тестові завдання, параметри та умови використання яких зберігаються у таблиці «Test». Вона також містить інформацію про тип запитання, відповіді, термін що перевіряється, назву завдання, нумерацію відповідей. Текст відповіді зберігається у таблиці «Option» із зазначенням відсотку правильності кожного варіанта. Поєднувати декілька варіантів відповідей з тестовим завданням призначена таблиця «Answer».

Середовище гнучкого тестування включає в себе безпосередньо платформу Moodle й відповідну базу даних, а також пагін, що реалізує алгоритм гнучкого тестування.

Для визначення рівня здобутих знань в системі Moodle є вбудований модуль, що дозволяє

формувати тестові запитання та проводити тестування. Власний алгоритм Moodle, що проводить тестування, не є оптимальним, адже він проводить вибірку запитань випадковим чином. В результаті такого тестування не можна отримати повної картини про рівень та глибину знань учня, що проходив дане тестування. Алгоритм вибору запитань випадковим чином є досить примітивним і не забезпечує об'єктивність перевірки. Використовуючи його, не можливо гарантувати, що у тестовій виборці будуть обрані запитання різної складності та з різних лекційних блоків.

Система Moodle є системою з відкритим програмним кодом, що дозволяє дописувати модулі для розширення її функціоналу, наприклад, окремих програмних блоків – плагінів, які інтегруються в систему та додають нові можливості [12]. Існує понад 40 різновидів відомих плагінів, що додають Moodle різний функціонал. Так, існують плагіни, що формують різного типу звіти, створюють нові політики безпеки, формують статистику, створюють тести, тощо. Таким чином, задача модифікації базового алгоритму проведення тестування Moodle може бути вирішена шляхом розробки відповідного плагіну.

Для вирішення поставленої задачі, було розроблено алгоритм (рис. 6), ключовими особливостями якого є наступні:

- охоплення максимальної кількості лекційних блоків;
- низхідний аналіз, що починається з перевірки розуміння найбільш семантично вагомих термінів, й поступово переходить до менш важливих термінів;
- мінімізація затраченого на процес тестування часу при збереженні об'єктивного оцінювання рівня знань.

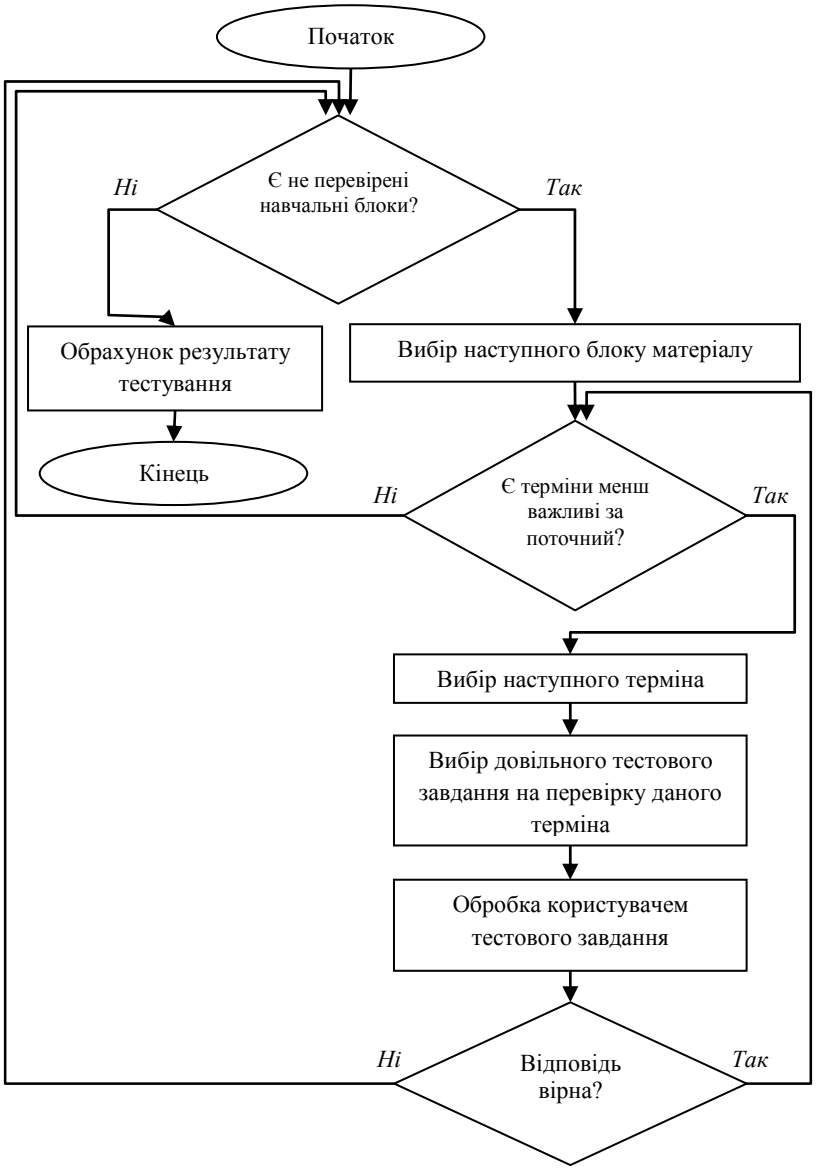


Рис. 6. Алгоритм гнучкого вибору тестових запитань

Наведений алгоритм гнучкого вибору тестових запитань дозволяє проводити тестування по максимальній кількості лекційних блоків, розпочинаючи тестування від найбільш загального терміну. Складність запитань збільшується у разі правильної відповіді. Якщо ж користувач не спроможний дати вірну відповідь навіть на найлегше запитання, то немає сенсу продовжувати опитування блоку та перевіряти

знання на складніших запитаннях. Тому повна перевірка знань поточного лекційного блоку закінчується достроково у разі невірних відповідей або ж після правильних відповідей на усі запитання, включаючи найскладніші. У разі завершення тестування по одному блокові, відбувається перехід до тестування наступного, якщо такий є. Тест визнається пройденим у випадку, коли оброблені усі лекційні блоки. Оцінка за тест визначається як оцінка за кожен лекційний блок, помножена на ваговий коефіцієнт цього блоку, що визначається розробником навчального курсу.

Реалізація функціональності модуля динамічного тестування потребує збереження тестових завдань, налаштувань тесту, та результатів тестування у базі даних. Система Moodle має свою базу, яка дозволяє додавати до неї таблиці, необхідні для роботи нового модуля. Структура таблиць бази даних, що необхідні для роботи модуля динамічного тестування зображенні на рисунку 7.

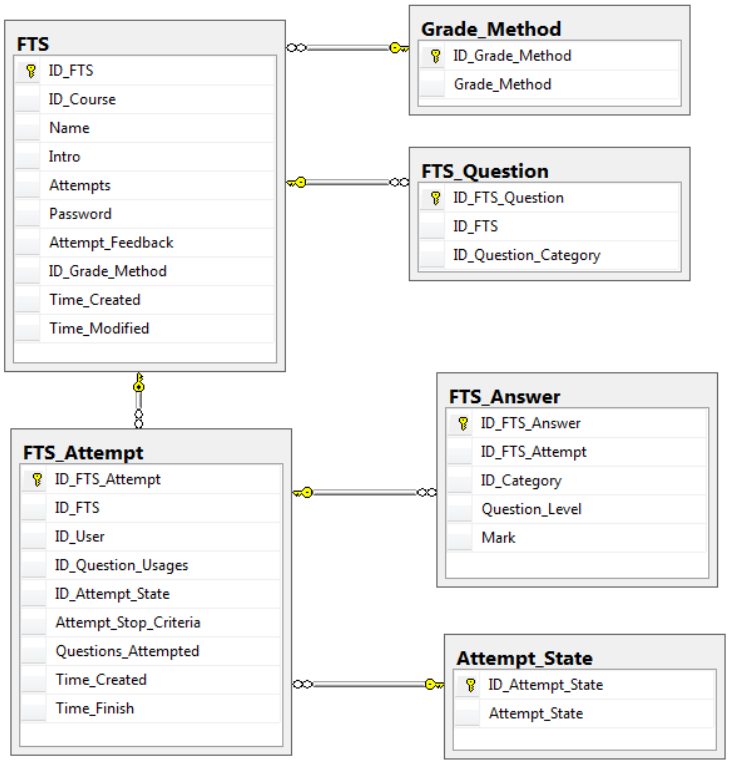


Рис. 7. Структура додаткових таблиць БД середовища Moodle

Розроблений фрагмент структури бази даних має тісну інтеграцією з системними таблицями Moodle. Таблиця «FTS» є однією з ключових таблиць модуля й зберігає інформацію про створенні тестові модулі плагіну у системі Moodle, та містить посилання на таблицю «Course» системи Moodle, що зберігає створені у системі курси. Таблиця «Grade_Method» містить можливі варіанти визначення оцінки тесту. «FTS_Question» є розвідною таблицею, що визначає зв’язок між створеними тестовими модулями плагіну та категоріями запитань, по яким перебачено проведення тестування (системна таблиця «Category»). Призначенням «FTS_Attempt» є збереження результатів кожної спроби. Дана таблиця містить зв'язки із модулем, в якому відбувається дана спроба, системними таблицями користувачів та запитань. Також в ній зберігається інформація про початок та завершення спроби, причину припинення та кількість тестових запитань, що було задано. Результати відповідей на кожне запитання зберігаються в таблиці «FTS_Answer». Вона зберігає посилання на спробу та категорію запитань, з якої було обране завдання, а також рівень складності завдання та результат відповіді, даної користувачем.

Отже, у запропонованій архітектурі системи для гнучкого тестування середовище гнучкого тестування засобами Moodle реалізує адаптивний механізм тестування й рівномірне покриття тестом структури навчального матеріалу, а середовище розробки тестів призначене для формування наборів тестових завдань, що містять необхідний для гнучкого тестування набір параметрів.

Програмна реалізація

З метою перевірки ефективності запропонованої технології, її складові були реалізовані у вигляді тестових програмних продуктів.

Автоматизована система розробки тестів «Semantic Test Serializer», реалізована з використанням мови програмування C# на платформі .NET Framework, дозволяє автоматизувати створення тестових запитань та контролювати рівномірність покриття тестовим набором навчального матеріалу. Також система допомагає розробникові тестів сформувати набір, тестові завдання якого збалансовані за типом запитання та рівнем складності. Для зберігання даних навчальних матеріалів, переліків термінів до них та тестових завдань і їх властивостей використовується база даних у СКБД Microsoft SQL Server розглянутої вище

структури.

Завантажені навчальні матеріали зберігаються в базі даних у вигляді байтового масиву, що описує формат файлу *.rtf. Такий вигляд збереження інформації, на відміну від звичайного текстового, дозволяє зберігати цифрові документи у форматованому вигляді, включаючи заголовки, шрифти, картинки, таблиці та ін. (рис. 8). В базі даних зберігаються як вхідні й вихідні, так і проміжні етапи роботи, що покликане зробити процес розробки тесту більш комфортним. З'єднання програми з базою відбувається одноразово і використовується протягом роботи усієї програми.

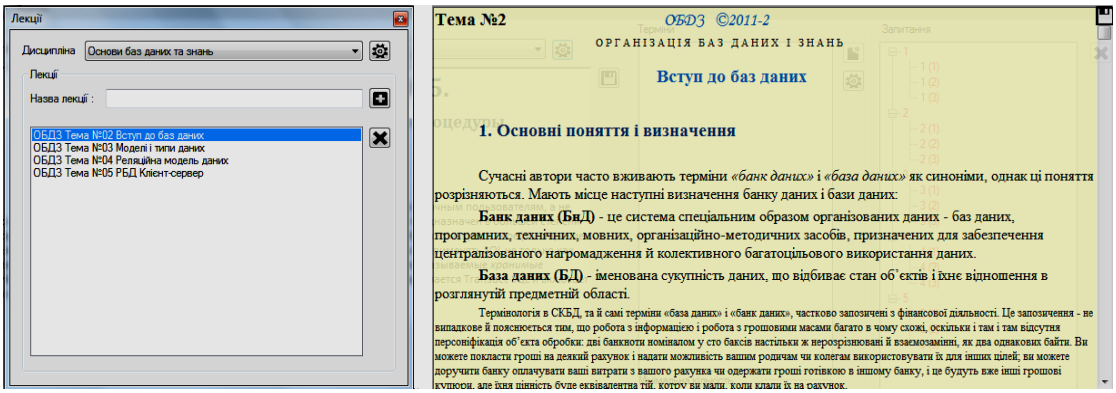


Рис. 8. Інтерфейс занесення навчальних матеріалів у систему розробки тестів

Збережена таким чином інформація, читається з бази даних зворотнім чином: вона перетворюється в файл з розширенням *.rtf, після чого у текстовому вигляді присвоюється елементам, що підтримують відформатований текст.

Кожен структурний елемент навчального матеріалу (модуль, тема, лекція тощо) має свій впорядкований перелік термінів, які в ньому розглядаються. Для цього було використано алгоритм для знаходження ключових термінів навчального матеріалу (рис. 9) за допомогою алгоритму аналізу текстів на базі дисперсної оцінки [11]. Більш важливі терміни мають більше значення дисперсної оцінки. Оскільки кожне запитання, що створюється, автоматично співставляється мінімум одному із знайдених термінів та зберігає даний зв'язок, вдається не лише повністю покрити навчальний матеріал запитаннями, а й визначити рівень складності кожного запитання відповідно до значення дисперсної оцінки терміна, що ним перевіряється.

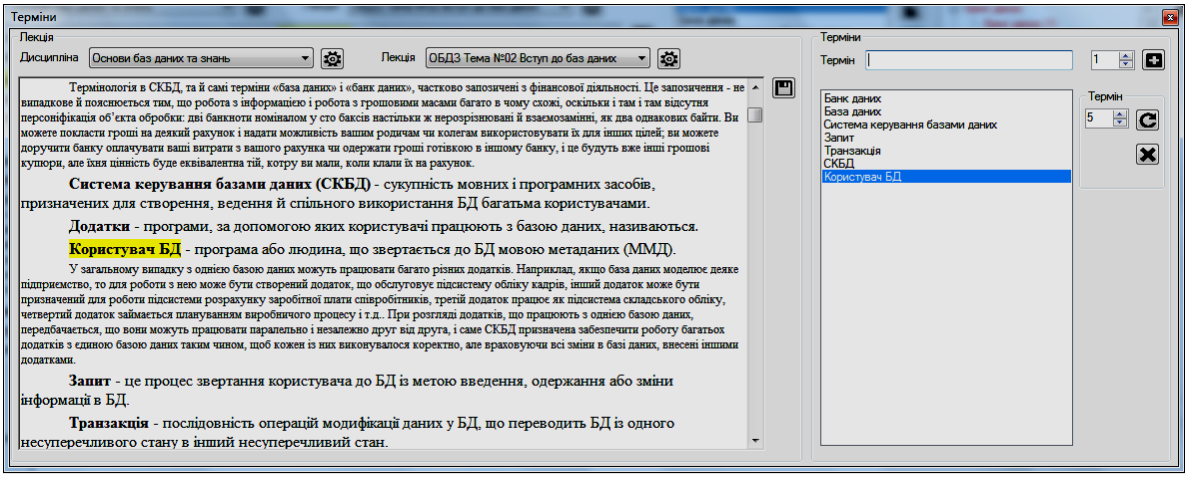


Рис. 9. Інтерфейс роботи з термінами системи розробки тестів

При розробці тестових завдань система автоматично визначає мінімальну кількість запитань, яка необхідна для покриття навчального матеріалу і проведення об'єктивного тестування, їх співвідношення з всіма елементами повної онтології навчального матеріалу (рис. 10).

Система Moodle дозволяє імпортувати та експортувати тестові завдання у файл, що було використано для забезпечення завантаження розроблених тестових завдань. За результатами формуванні тестової вибірки генерується файл формату *.xml зі структурою, що підтримується Moodle. У подальшому цей файл може бути завантажений у систему Moodle за опцією «Імпорт» (рис. 11). Завантажені завдання можуть використовуватися системою для організації тестових перевірок знань. При збереженні запитання маркуються програмою «Semantic Test Serializer» таким чином, щоб зберегти взаємозв'язок між запитанням та складністю терміна, який воно перевіряє. В подальшому розроблений плагін Moodle використовує це маркування для визначення складності запитання та вибору наступних запитань.

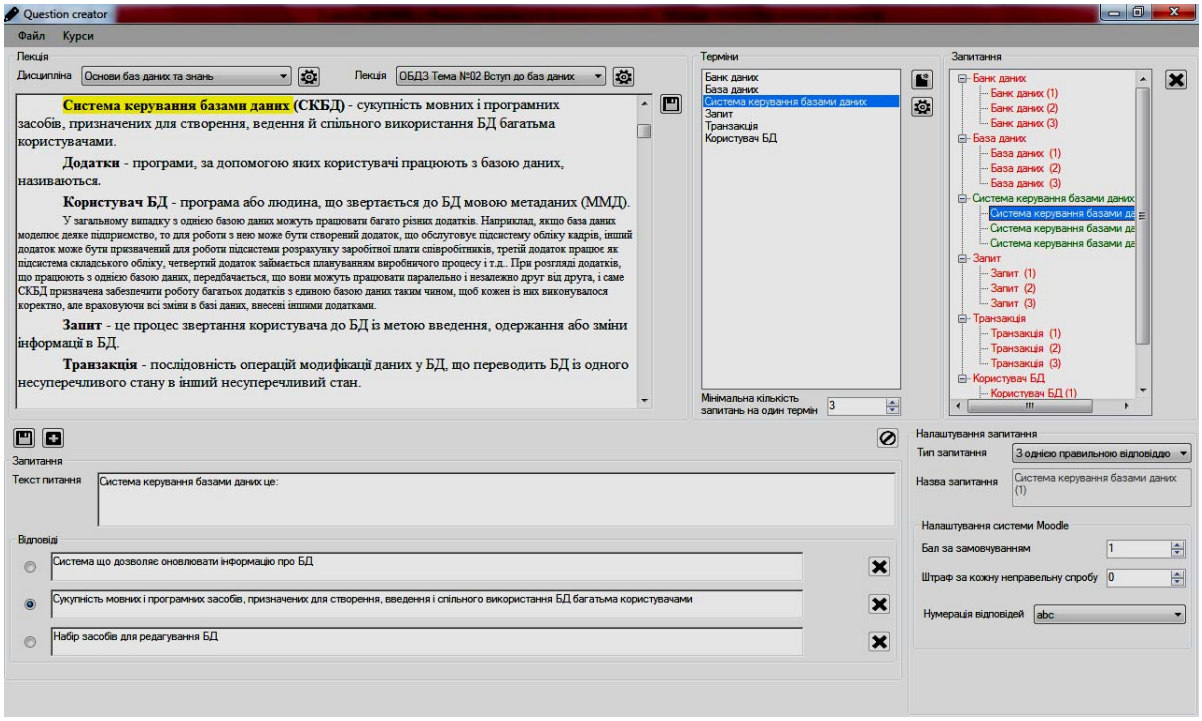


Рис. 10. Інтерфейс розробки тестів та навігації в онтології

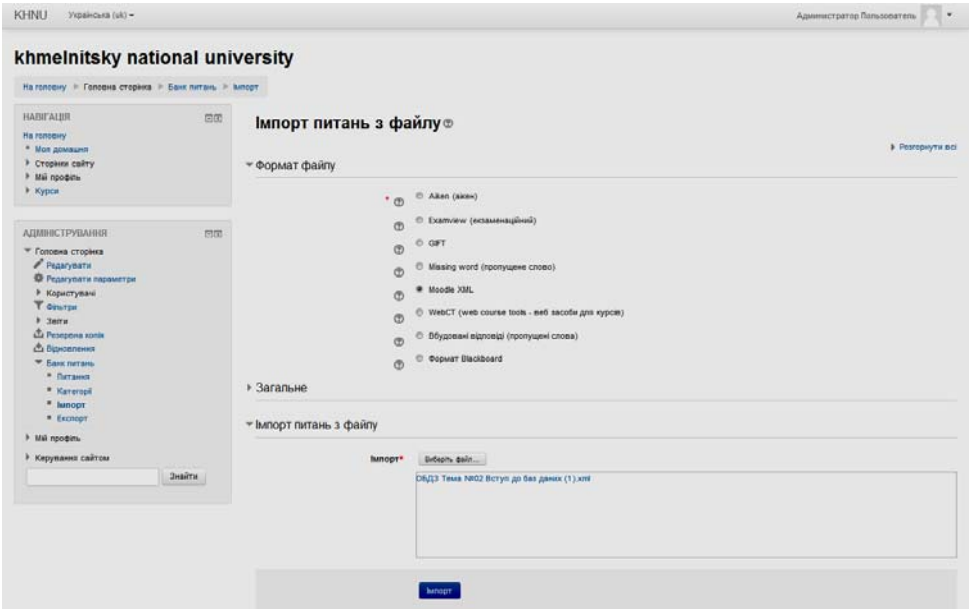


Рис. 11. Імпорт тестових завдань у середовище Moodle

Усі тестові завдання у системі Moodle мають спільні властивості. До них відносяться: назва запитання, його текст та перелік варіантів відповідей. Moodle підтримує велику кількість різних типів тестових завдань, окрім цього нові види запитань можуть бути розроблені та додані у систему в якості плагінів. Кожне запитання повинно містити перелік відповідей. В залежності від виду завдання, набір властивостей його відповідей може бути різний. Однак, всі запитання повинні мати обов'язковий перелік полів: текст відповіді, формат та відсоток який характеризує наскільки даний варіант відповіді є вірним. Усі види тестових завдань мають ряд обов'язкових властивостей які можуть бути розширені даним типом запитань. До обов'язкових властивостей відносять: бал завдання, штраф за кожну наступну спробу та перелік тегів.

Наведений вище алгоритм гнучкого тестування, який базується на аналізі попередніх відповідей користувача, було інтегровано в середовище Moodle шляхом розробки відповідного ***плагіна для гнучкого тестування*** «Flexible Testing System» (рис. 12). У Moodle передбачена можливість створення плагінів, що модифікують процес тестування та аналіз відповідей, реалізуючи нові ідеї та алгоритми. Так як вся система написана за допомогою технології PHP, то і написання плагінів до неї теж здійснюється з використання цієї технології. Для створення різних типів плагінів потрібно обов'язково наслідувати і перевизначати існуючі класи та методи Moodle, що дає можливість системі взаємодіяти та інтегруватися з значною кількістю нових плагінів.

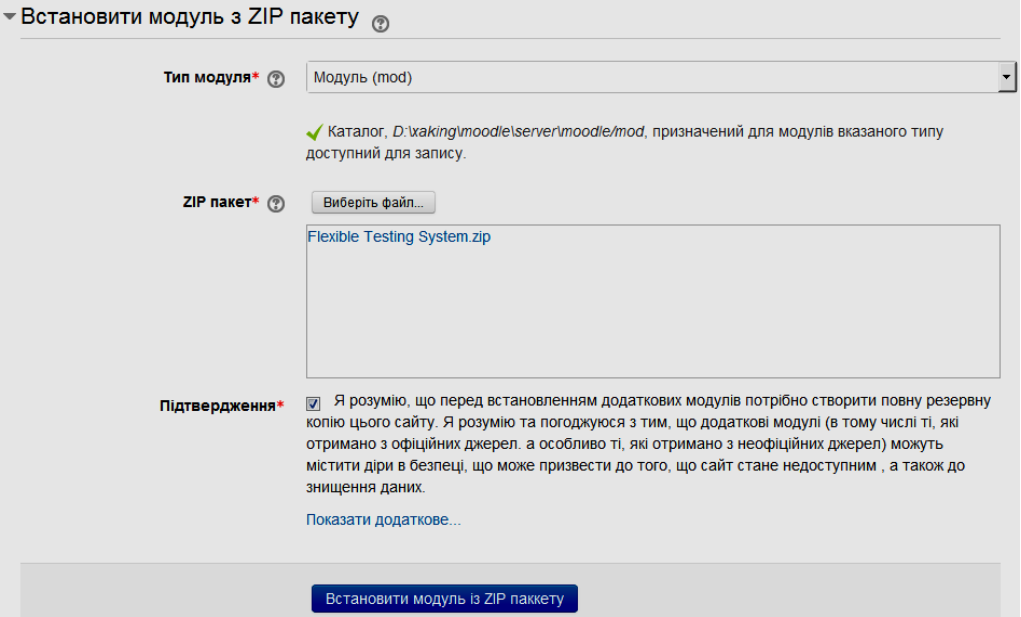


Рис. 12. Встановлення розробленого плагіну в Moodle

Для встановлення плагіна в Moodle потрібно заархівувати усі файли з програмним кодом в *.zip архів, та за допомогою панелі адміністрування завантажити цей архів у систему. Moodle розархівовує файли в папку, що відповідає типу даного модуля, і в подальшому працює з ними, причому встановлений плагін буде відображатися у списку всіх встановлених модулів системи (рис. 13).

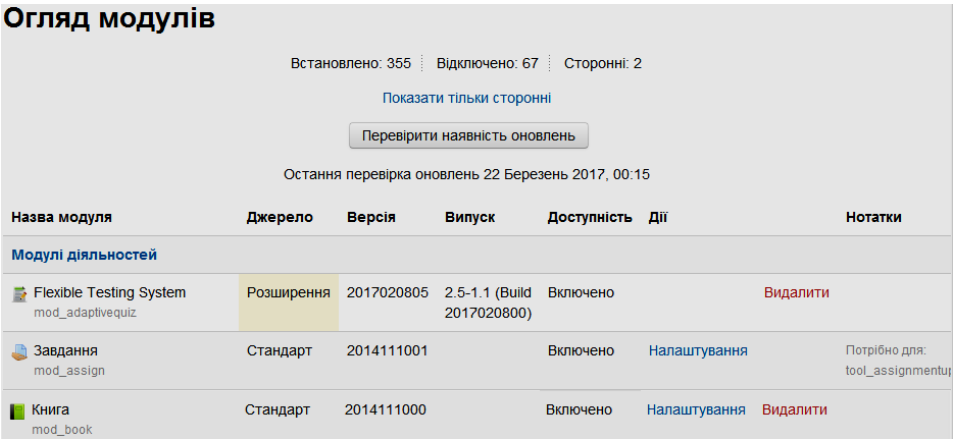


Рис. 13. Огляд переліку встановлених плагінів у середовищі Moodle

Інтегрування в навчальний ресурс середовища Moodle тесту з алгоритмом гнучкого тестування відбувається вибором даного плагіну зі списку доступних елементів курсу (рис. 14).

Програмні модулі плагіну впливають на ряд властивостей середовища Moodle, що відображено на рисунку 15. Модуль спроби кожного разу коли користувач розпочинає тестування запускає відповідний процес, робить запис в базу даних про час початку, користувача тощо. Модуль завершення тесту модифікує останню сторінку при проходженні тесту, на якій висвітлюється перелік тестів і є кнопка «Відправити все та завершити». Модуль завершення впливає на сторінку, яка записує результати тесту в БД і редиректує користувача на головну сторінку курсу; в даному випадку гнучкого тестування, користувач не може повертатися до попередніх тестів і запис про результат кожного тесту відбувається одразу після натиску на кнопку «Наступне запитання», тому ця сторінка просто записує дату завершення тесту і повертає користувача на головну сторінку. Модуль логіки тестування використовується системою кожного разу, щоб визначити рівень складності наступного запитання, переконатися чи користувач не вичерпав ліміт своїх завдань (не досягнув кінця тесту). Модуль-контейнер інформації про тестову спробу використовується для показу результатів тестування, дозволяє будувати графіки на основі даних, містить інформацію про кількість заданих запитань, середню складність, список правильних і неправильних відповідей, викладач може переглянути як студент відповідав на запитання. Модуль для видалення спроби користувача дозволяє викладачу зайти в систему і видалити певні результати спроб користувача. Модуль витягування завдань з БД забезпечує на основі даних з модулю логіки витягування запитання відповідної складності та відповідної категорії чи типу з БД Moodle. Навіть якщо БД містить багато завдань однієї складності, то цей клас обирає завдання випадковим чином, але водночас слідкує, щоб воно не повторювалося. Модуль оцінок формує

сторінку, що виводить список студентів, їхні спроби та оцінки за кожну спробу. Модуль налаштувань дозволяє розробнику задати наступні налаштування для курсу: ім'я, кількість доступних спроб, пароль для того щоб розпочати спробу, спосіб визначення кінцевої оцінки (найкращий результат/середній), обирає групу запитання що вже завантаженні в Moodle і з цієї групи обирає запитання під час тесту. Модуль перегляду результатів тестування забезпечує завантаження завдань всього тесту й відповіді, які обрав користувач, і правильні відповіді.

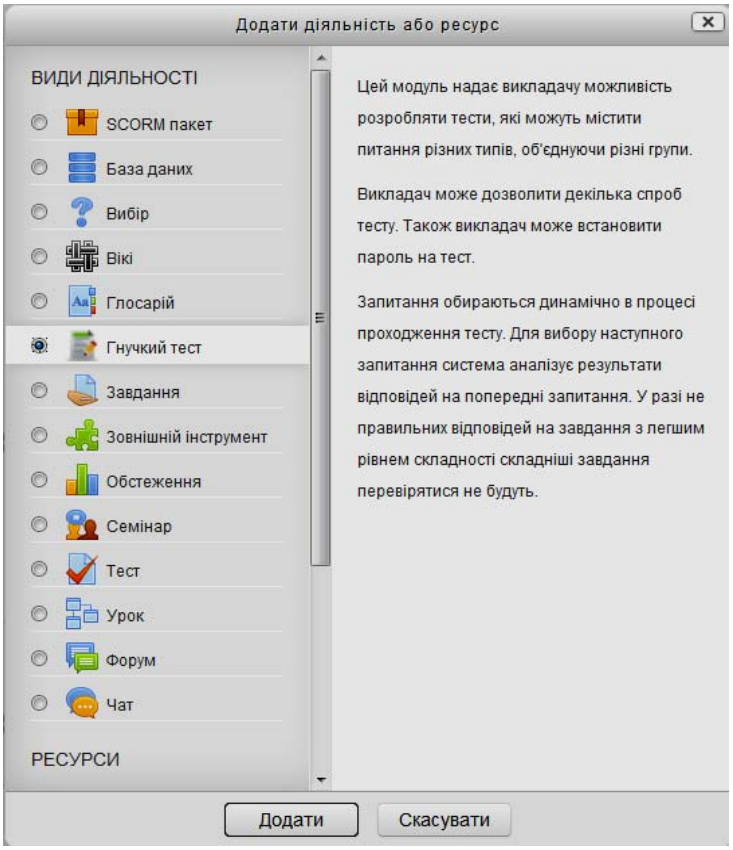


Рис. 14. Додавання в навчальний ресурс елементу гнучкого тестування в середовищі Moodle

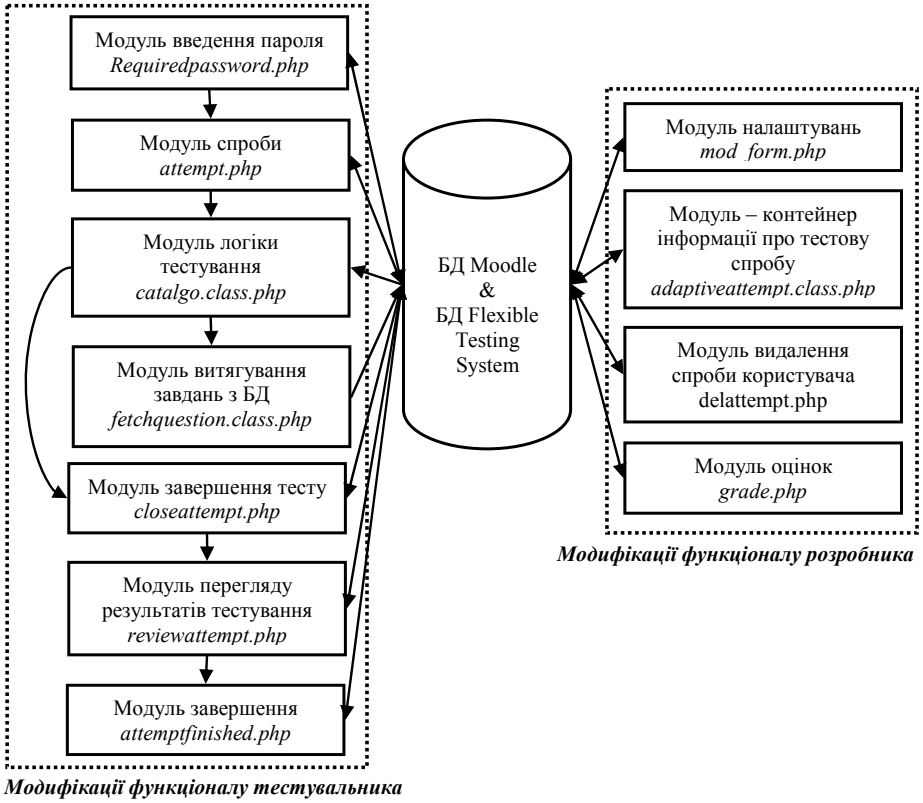


Рис. 15. Схема взаємодії компонентів плагіну для гнучкого тестування

Усі тестові завдання в середовищі Moodle мають спільні властивості. До них відносяться: назва запитання, його текст та перелік варіантів відповідей. Moodle підтримує велику кількість різних типів тестових завдань, окрім цього нові види запитань можуть бути розроблені та додані у систему в якості плагінів. Кожне запитання повинно містити перелік відповідей. В залежності від виду завдання, набір властивостей його відповідей може бути різний. Однак, всі запитання повинні мати обов'язковий перелік полів: текст відповіді, формат та відсоток який характеризує наскільки даний варіант відповіді є вірним. Усі види тестових завдань мають ряд обов'язкових властивостей, які можуть бути розширені даним типом запитань. До обов'язкових властивостей відносять: бал завдання, штраф за кожну наступну спробу та перелік тегів.

Розроблений плагін використовує маркування тестових завдань для визначення складності запитання та вибору наступного запитання необхідної складності. Плагін задає запитання послідовно (рис. 16) для того, щоб аналізувати відповідь на попереднє запитання та в залежності від його результату обирати наступне. Відтак, користувач не знає, на яку кількість запитань йому ще доведеться дати відповідь.

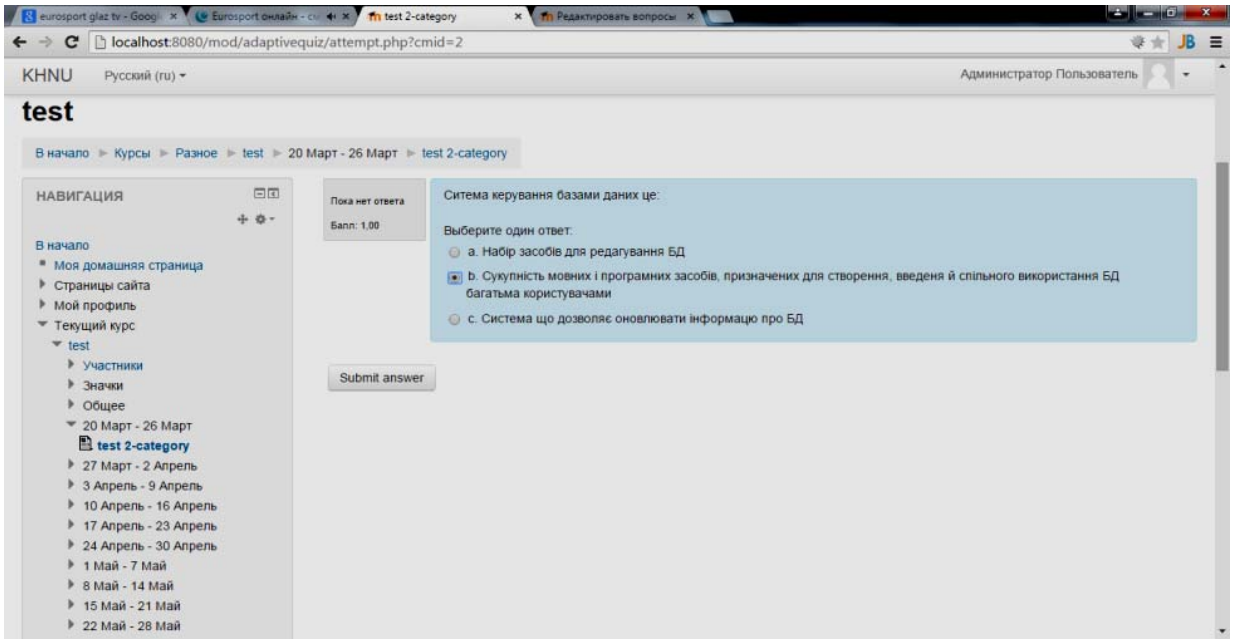


Рис. 16. Приклад гнучкого тестування з використанням розробленого плагіна у середовищі Moodle

Для проходження тесту потрібно обрати створений елемент у відповідному курсі. Створений модуль організовує перевірку знань за алгоритмом гнучкого тестування, й система задаватиме запитання, опираючись на результати відповідей. Алгоритм гнучкого тестування дозволяє більш повноцінно охопити весь навчальний матеріал, завчасно припинити тестування у разі якщо користувач не дав правильної відповіді на найлегші запитання, а також максимально точно визначити рівень знань людини що проходить тестування. Результат тесту відображається відразу після його завершення. Також він доступний для перегляду викладачу та адміністратору системи.

Дискусія

В результаті роботи було розроблено два програмних продукти, які дозволяють створювати тестові завдання та реалізовують алгоритм гнучкого тестування. Розроблена система є більш гнучкою за існуючі аналоги, оскільки обирає запитання не випадковим чином, а аналізуючи їхню складність та відповіді користувача на попередні запитання [13].

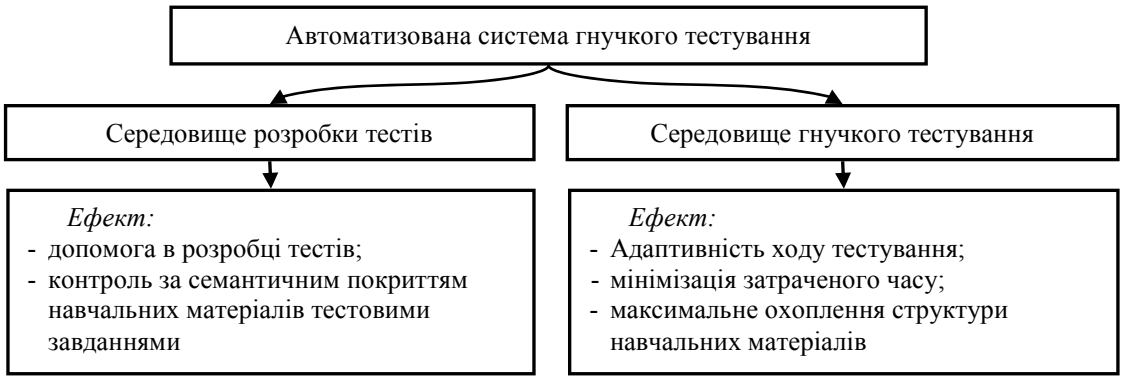


Рис. 17. Ефект від застосування інформаційної технології гнучкого тестування рівня знань

Автоматизована система гнучкого тестування містить дві основні підсистеми, кожна з яких дає свій корисний ефект (рис. 17).

На об'єктивність результатів суттєво впливає правильність сформованих тестових запитань. Адже для створення коректного тестового набору, тестові завдання формуються так, щоб вони рівномірно покривали навчальний матеріал.

На коректність сформованого тестового набору впливає як суб'єктивний фактор розробника й якість навчального матеріалу (який природно виступає сировиною для формування контенту тестових завдань), так і ефективність автоматизованої побудови повної онтології предметної області [14].

При коректно сформованому наборі тестових запитань, запропонований підхід дозволяє більш точно визначити глибину знань та виявити прогалини в розумінні вивченого матеріалу.

Висновки

В статті було досліджена проблема підвищення ефективності тестування рівня отриманих знань із використанням комп'ютерних засобів. Розглянуто інформаційну технологію гнучкого тестування рівня знань, що формує репрезентативні набори тестових завдань та адаптивно обирає тестові завдання в процесі тестування. Представлено тестові програмні продукти, що в комплексі з середовищем Moodle реалізують запропоновану інформаційну технологію гнучкого тестування й дозволяють підтвердити її високу практичну та наукову цінність.

Подальші дослідження спрямовані на вдосконалення методів та технологій, що забезпечують автоматизоване визначення впорядкованих переліків ключових термінів та побудову повної онтології предметної області.

Література

1. Нові інформаційні технології в освіті [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://it-tehnolog.com/statti/novi-informatsiyni-tehnologiyi-navchannya/.

2. Аванесов В. С. Композиция тестовых заданийь / В. С. Аванесов. – М. : Центр тестирования, 2002.

3. Комп'ютерна програма тестування знань OpenTEST 2 [Електронний ресурс]. − Режим доступу : http://opentest.com.ua/kompyuternaya-programma-testirovaniya-znanij-opentest-2/

4. Контрольно-діагностична система Test-W2 [Електронний ресурс]. − Режим доступу : http://teach-inf.at.ua/load/programi/testi/ test_w2_kontrolno_diagnostichna_sistema/16-1-0-7

5. Снитюк В. Е. Интеллектуальное управление оцениванием знаний / В. Е. Снитюк, К. Н. Юрченко. − Черкассы, 2013. − 262 с.

6. Даревич Р. Р. Підвищення ефективності інтелектуального аналізу тесту шляхом зважування понять моделі онтології / Р. Р. Даревич // Штучний інтелект. – 2005. – № 3. – С. 571–577.

7. Зайцева Л. В. Моделі та методи адаптивного контролю знань / Л. В. Зайцева, Н. О. Прокофьєва // Educational Technology & Society. – 2004. – № 7 (4). – С. 265–277.

8. Катеринчук И. С. Интеллектуальная система автоматизированного контроля знаний студентов высших учебных заведений / И. С. Катеринчук, Р. В. Рачок, В. В. Кравчук, В. М. Кулик // Информационные технологии в образовании : сборник научных трудов. – Херсон : Изд-во ХГУ, 2009. – Выпуск 4. – С. 139–147.

9. Moodle – вільна енциклопедія [Електронний ресурс]. − Режим доступу : http://uk.wikipedia.org/wiki/Moodle

10. Поліщук А. О. Інформаційна технологія автоматизації аналізу відповідності тестових завдань лекційним матеріалам навчальних дисциплін / А. О. Поліщук, О. В. Мазурець // Збірник наукових праць за матеріалами дев'ятої міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних технологій 2015». – Хмельницький, 2015. – С. 207–218.

11. Бармак О. В. Інформаційна технологія автоматизованого визначення термінів у навчальних матеріалах / О. В. Бармак, О. В. Мазурець // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2015. – № 2. – С. 94–102.

12. Особливості розробки плагінів до Moodle [Електронний ресурс]. − Режим доступу : https://docs.moodle.org/dev/Main_Page

13. Матвійчук А. О. Інформаційна технологія гнучкого тестування рівня знань / А. О. Матвійчук, О. В. Мазурець // Збірник наукових праць за матеріалами дев'ятої міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних технологій 2015». – Хмельницький, 2015. – С. 158–169.

14. Крак Ю. В. Практичне дослідження ефективності інформаційної технології автоматизованого визначення семантичних термінів в контенті навчальних матеріалів / Ю. В. Крак, О. В. Бармак, О. В. Мазурець // Прикладне програмне забезпечення : збірник наукових праць за матеріалами десятої міжнародної науково-практичної конференції по програмуванню «УкрПРОГ'2016». – К., 2016. – С. 237–245.

Рецензія/Peer review : 27.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сорокатий Р.В.

УДК 677.11.021

Н.В. ТУЛУЧЕНКО
Херсонський національний технічний університет

ЕКОЛОГІЧНІ НОРМИ БЕЗПЕКИ ВИРОБІВ ДОМАШНЬОГО ВЖИТКУ З ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО

У статті проаналізована можливість вдосконалення якості продукції домашнього вжитку з вмістом льону олійного за рахунок дотримання європейських екологічних вимог. Проаналізована вітчизняна та зарубіжна нормативна база, яка визначає основні вимоги до товарів побутового характеру.

Ключові слова: льон олійний, якість, вироби домашнього вжитку, екологічні вимоги.

N.V. TULUCHENKO
Kherson National Technical University

ENVIRONMENTAL SAFETY STANDARDS OF THE HOUSEHOLD PRODUCTS FROM FLAX

In this article the basic normative framework in Ukraine of conformity assessment of ecological household products that contain nonwoven fabrics of flax oil is determined. Requirements for biological and chemical safety materials of sewing products are summarized. The possibility of improving the quality of such products by strengthening the control of physical and mechanical properties of the above materials determined. It is shown that improving the quality of household products containing linseed is possible at the expense compliance of international environmental documents, because in Ukraine exists exclusively obsolete normative documents for conformity assessment of modern linseed nonwovens. Concluded that the rationing of non-woven ecological materials quality there is an urgent need to develop national standards that are adapted to the conditions of modernity and take account the needs of enterprises and consumers. Thus, the certified products will compete with similar imported goods and increase the share of them on the domestic market.

Keywords: linseed, quality, household goods, environmental requirements.

Постановка задачі

Завдяки вдосконаленню існуючих технологій виробництва і розробці нових перспективних способів, значно збільшились обсяги випуску нетканих текстильних матеріалів та розширився їх асортимент у всьому світі [1]. Проте разом з цією тенденцією у всіх прогресивних країнах створюється нормативна база, що регулює якість сировини та готового виробу і визначає основні показники екологічності продукції. До цих держав має долучитись і Україна, адже антропогенне і техногенне навантаження на навколишнє природне середовище в Україні у кілька разів перевищує відповідні показники у розвинутих країнах світу [2]. Але питання, яким в Україні нормам мають відповідати неткані екоматеріали та ековироби домашнього вжитку, залишається без чіткої відповіді.

Аналіз досліджень та публікацій

Слід відзначити, що розробкою теоретико-методологічних основ екологічної сертифікації продукції в нашій країні займається велика кількість вчених, зокрема О.Ф. Балацький, Б.В. Буркинський, О.О. Веклич, Т.П. Галушкіна, Б.М. Данилишин, Л.Ф. Кожушко, Л.Е. Купінець, Л.Г. Мельник, П.М. Скрипчук, А.М. Слізков, В.Н. Соколенко, С.К. Харічков, М.А. Хвесик, В.Я. Шевчук та ін. Проблемою оцінювання рівня екологічної безпечності текстильних матеріалів і виробів різного цільового призначення займались І.С. Галик, Б.Д. Семак і Г.О. Пушкар [3–4]. Системи прогнозування якості нетканих матеріалів різних типів, виготовлених на основі екологічно чистих волокон льону олійного, розробляли Т.М. Головенко та Г.А. Тіхосова [5]. Питанню забезпечення якості вітчизняних текстильних матеріалів за рахунок удосконалення обробки та надання їм кращих фізико-механічних і технічних характеристик присвячені праці О.О. Оксенчук [6].

Виділення невирішених частин

Незважаючи на більш ніж достатню кількість публікацій, більша частина науковців у своїх працях акцентує увагу на конкретних заходах щодо покращення кількісних показників наявної продукції. Питання аналізу доступної українським виробникам нормативної бази та винесених цими документами вимог є недостатньо вивченими.

Формулювання цілей

Визначити основну нормативну базу оцінки відповідності екологічних товарів побутового призначення, що містять неткані матеріали з льону олійного. Визначити можливість підвищення якості таких товарів за рахунок посилення контролю фізико-хімічних та механічних показників наповнювача вищевказаних матеріалів.

Основна частина

Серед нетканих текстильних матеріалів інтер'єрного призначення значну частку займають неткані полотна і вироби домашнього вжитку. До останніх належать неткані матеріали для виготовлення постільної і столової білизни, матраців, рушників, ковдр, подушок і їх наповнювачів. Разом з тим, товарознавча інформація про видову та внутрішньовидову структури асортименту та властивості цих матеріалів для виготовлення виробів домашнього вжитку практично відсутня не тільки в нормативній документації, але й у монографічних, періодичних і навчальних виданнях. Необхідним є виявлення переваг і недоліків даної групи товарів порівняно з аналогічними виробами тканого способу виробництва. Особливої уваги вимагає пошук напрямів підвищення рівня екологічної безпечності означеної групи нетканих текстильних матеріалів

[1].

Наразі ринок текстильної екопродукції домашнього вжитку з наповнювачами, що містять льон олійний, знаходиться на стадії формування. Одним з таких виробників є ПП МФТВ "Екотекс"(м. Миколаїв), на якому випускаються льняні неткані текстильні матеріали та льоновмісні подушки, матраци і ковдри. Конкурентоздатність продукції підприємства може бути підвищена за рахунок підтвердження безпеки для людини та навколишнього середовища в спеціальних лабораторіях за рядом характеристик-показників, які найбільш повно визначають до певного асортименту товару вимоги споживача до визначеного асортименту товару [7]. Здійснення такого контролю вимагає екологічний орган сертифікації ICEA в Україні "Жива планета". Вироблені матраци мають відповідати таким вимогам за СОУ ОЕМ 08.002.23.017 "Матраци. Екологічні критерії оцінки життєвого циклу":

1) гранично допустима концентрація галогенізованих органічних сполук при експлуатації повинна бути меншою на 20% в порівнянні з встановленими державними вимогами;

2) залишковий вміст в наповнювачах рослинного походження мітотоксинів, важких металів та агрохімікатів також повинен бути на 20% менше в порівнянні з встановленими державними вимогами;

3) не містити органічних хлорованих пестицидів і флуоресцентних речовин у текстильних матеріалах;

4) не містити бензолів та хлорбензолів у клеях;

5) не містити гексаметилендіаміну;

6) гранично допустима концентрація формальдегіду у матеріалах із деревини повинна складати 0,1 мг/кг;

7) не містити без сполук хлору в матеріалах для пакування.

Ковдри мають відповідати наступним вимогам за СОУ ОЕМ 08.002.04.021 "Ковдри. Екологічні критерії оцінки життєвого циклу":

1) міграція хімічних речовин з матеріалів натурального та полімерного походження на 20% нижче встановлених державних вимог;

2) не містити хімічних сполук, що можуть викликати шкірно-подразнюючу і алергенну дії;

3) не містити пестицидів та гербіцидів у натуральних наповнювачах;

4) не містити хлорорганічних пестицидів і летучих флуоресцентних речовин в тканинах.

Текстильні ткані матеріали мають відповідати СОУ ОЕМ 08.002.04.047 "Тканини. Екологічні критерії оцінки життєвого циклу":

1) вміст важких металів повинен складати менше 20% менше в порівнянні з встановленими державними вимогами;

2) в тканинах із сировини рослинного походження залишковий вміст агрохімікатів має бути меншим 20% менше в порівнянні з встановленими державними вимогами;

3) pH 4,0 – 7,5;

4) не містити пігментів на основі свинцю;

5) не містити оловоорганічні з’єднання та ароматичні аміни [8].

Таким чином, перевірка виробів побутового призначення за рядом додаткових показників якості дозволить споживачам довіряти продукції, що випускається вітчизняними виробниками. Матеріали, що застосовуються для виготовлення виробів з вмістом льону олійного переробними підприємствами, повинні відповідати вимогам біологічної та хімічної безпеки, зазначеним у табл. 1 [9–12].

У складі вищевказаних побутових продуктів також присутнє регенероване волокно. Його застосування здійснюється у відповідності з принципом забезпечення найбільш повної переробки текстильних відходів виробництва і споживання корисних для суспільства матеріалів і виробів.Це допомагає запобігати негативному впливу відходів на навколишнє середовище і заощаджувати первинну сировину з досягненням при цьому максимального економічного ефекту. Так, багато видів текстильних відходів, по своїй якості практично не поступаються первинній сировині, а їх переробка може забезпечити ті потреби, задоволення яких в даний час обмежене через недостатність природних ресурсів і виробничих потужностей. До того ж в даний час в текстильній та легкій промисловості створились значні запаси волокнистих відходів виробництва, більша частина яких цілком може бути використана [13].

Якість продукції з регенерованим волокном залежить, зокрема, від якості застосовуваної сировини. Ця сировина є переробленими залишками швейного, ватного і вовняного виробництва. Якісно зшитий і пропікований матрац з таким наповнювачем не поступається за якісними показниками ватній продукції. Все через те, що регенероване волокно – майже те ж саме, що і вата, з тією лише різницею, що його властивості повністю залежать від сировини, з якого він був виготовлений [7].

Існує кілька видів регенерованого волокна: біле, напіввовняне, змішане та синтетичне. На ПП МФТВ "Екотекс" використовують напіввовняне та бавовняне регенероване волокно. Ця сировина є повністю натуральною тобто не містить синтетичних волокон та відрізняється високою якістю [8].

У відповідності з ГОСТ 5679-91 [14] вату, в залежності від призначення, поділяють на одежну і меблеву. Одежну підрозділяють на види: "Люкс", "Прима", "Швейна". Нормована вологість вати – 9%. Вату випускають суворою або меланжевою. У ваті мінерально-масляні забруднення не допускаються. Вата не повинна мати гнильного запаху. Вона повинна бути добре прочесана, зберігати між собою зв'язок, легко розшаровуватися на паралельні шари. За фізико-механічними показниками вата повинна відповідати

вимогам, зазначеним в табл.2 [14].

Таблиця 1

Вимоги до біологічної і хімічної безпеки матеріалів для швейних виробів

Найменування показника	Норма
СТБ 753-2000 "Подушки. Общие технические условия"	
Маса наповнювача	В залежності від виду наповнювача. Максимально для ватних подушок – 2000 гр., мінімально для подушок з поліефірного волокно – 900 гр.
Вологість наповнювача, %, не більше	12
Рівень напруженості електростатичного поля	15,0 кВт/м
Сторонні включення та запах	Не допускаються
Дефекти, що не допускаються	Пропуск стібків; нерівномірність наповнювача і тверді включення у набивочному матеріалі; осипання барвника; забруднені місця; текстильні пороки тканин.
ГОСТ Р 55857-2013 "Ковдри і покривала стьобані. Подушки. Загальні технічні умови"	
Гігроскопічність, %, не менше	4 (ковдри стьобані дитячі)
Повітропроникність, дм/м с, не менше	70(ковдри стьобані дитячі, подушки дитячі)
Масова частка вільного формальдегіду, мкг/г, не більше	75 (ковдри стьобані дитячі, подушки дитячі), 700 (ковдри і подушки для дорослих)
Стійкість забарвлення	Не менше 3-х балів
Кількість наповнювача	У відповідності до виду виробу та сировини
ДСТУ 4239:2003 "Матеріали та вироби текстильні і шкіряні побутового призначення. Основні гігієнічні вимоги"	
pH, од. (дитячі вироби)	4,8–7,5
Вміст вільного і здатного частково виділятись формальдегіду, мкг/г (дитячі вироби)	Не більше 20
ГОСТ 26604-85 "Полотна нетканые (подоснова) антисептированные из волокон всех видов для теплозвукоизоляционного линолеума. Технические условия"	
Поверхнева щільність, г/м^2	725±50
Розривне навантаження у поздовжньому напрямі, Н (кгс), не менше	196(20)
Нормована вологість, %, не більше	12
Нерівність по поверхневій щільності, %, небільше	8
Зміна товщини при гарячому пресуванні, мм, не більш	1,5
не допускаються	мінерально-масляні забруднення, сторонні включення, костра, вузли, ущільнення, складки, дольові смуги від зломаних голок, наскрізні отвори та відшарування каркасу від волокон

Таблиця 2

Вимоги до ватного наповнювача виробів побутового призначення

Найменування показника	Норма для вати			
	Одежна			Меблева
	"Люкс"	"Прима"	"Швейна"	
Масова частка сміття і неопрацьованих скупчень волокон,%, не більше	2,6	5,0	7,0	10,0
Пружність, %, не менше	67,0	65,0	60,0	54,0
Щільність маси, кг/м^3, не більше	22,0	23,0	25,0	30,0

Також ПП МФТВ "Екотекс" випускає неткане льняне полотно. В Україні такі матеріали не підлягають обов'язковій сертифікації, і, наразі, не існує національного стандарту на такі вироби [4]. Тому українські виробники оцінюють свою продукцію з луб'яних волокон за нормативними документами (НД), створеними ще за часів СРСР. Так, якість нетканого полотна з льону олійного оцінюють за ГОСТ 19813-74 [6]. Хоча в Україні розроблений ДСТУ 2948-94 "Неткані матеріали. Технологія та устаткування. Терміни та визначення" [7], проте він визначає основні поняття, а не вимоги до екологічності продукції та не враховує

специфіку льняної сировини.

Продукція, що вказана вище, не є конкурентоспроможною у країнах Євросоюзу, оскільки на його території діють міжнародні організації з оцінки відповідності екологічним стандартам та надають сертифікат, що дозволяє реалізовувати продукцію. В Україні такий сертифікат видається ICEA через українське представництво на базі органу сертифікації продукції "Жива планета". Ця вітчизняна організація за результатами випробувальних лабораторій, акредитованих на відповідність вимог міжнародного стандарту ISO 17025 (ДСТУ ISO 17025), надає документ відповідності СОУ ОЕМ 08.002.04.022 "Вироби текстильні неткані. Екологічні критерії оцінки життєвого циклу". Вищевказаний нормативний документ забезпечує дотримання більш чистих технологій виробництва, гарантує відсутність вмісту токсичних речовин та використання матеріалів для пакування, що придатні до переробки в якості вторинної сировини [8].

Таким чином, для оцінки відповідності сучасних нетканих матеріалів з льону олійного існують виключно застарілі нормативні документи. Сучасні європейські стандарти та наявна вітчизняна нормативна база не враховують особливостей матеріалу.

Висновки

Показано, що нормативна база для визначення якості нетканих матеріалів з льону олійного в Україні відсутня. Виробники цієї продукції вимушені користуватися застарілими документами. Міжнародні екологічні стандарти через коштовність процедури оцінки відповідності є недоступними, а державний стандарт України не відображає специфіки льняної сировини. Тим не менш підвищення якості виробів домашнього вжитку з вмістом льону олійного можливе за рахунок дотримання екологічних міжнародних документів. Таким чином, сертифікована продукція конкуруватиме з аналогічними товарами імпортного виробництва та збільшить частку товарів на вітчизняного ринку. Для нормування якості нетканих екоматеріалів існує гостра необхідність розробки державних стандартів, які адаптовані до умов сучасності, а також враховують потреби виробництв та споживачів.

Література

1. Пушкар Г.О. Сучасний асортимент і властивості нетканих текстильних матеріалів інтер'єрного призначення / Г.О. Пушкар, Б.Д. Семак // Товарознавчий вісник. – 2012. – № 3. – С. 43–48.

2. Закон України "Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року" № 2818-VI від 21.12.2010 – К. : Відомості Верховної Ради України. – № 26. – 2011. – С. 218.

3. Галик І.С. Екологічна безпечність текстилю: проблеми та рішення / І.С. Галик, Б.Д. Семак // Вісник Хмельницького національного університету – 2014. – № 6. –С. 88–90.

4. Пушкар Г.О. Неткані текстильні матеріали інтер'єрного призначення сучасний асортимент, властивості та сфери використання / Г.О. Пушкар, Б.Д. Семак // Вісник Хмельницького національного університету. –2012. – № 4. – С. 196–201.

5. Головенко Т.М. Сучасні проблеми стандартизації нетканих матеріалів з волокон льону олійного / Т.М. Головенко, Г.А. Тіхосова, Л.Г. Бартків // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2014. – № 2. – С. 8–12.

6. Оксенчук О.О. Забезпечення якості як основи формування ринку текстильних матеріалів технічного призначення / О.О. Оксенчук // Товарознавчий вісник. ЛКА. – 2012. –Вип. 5. – С. 120–125.

7. Олійник Г.С. Якість як основа конкурентоздатності нетканих текстильних матеріалів для меблевої промисловості / Г.С. Олійник // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 3. – С. 247–253.

8. Офіційний сайт організації "Жива планета" [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.ecolabel.org.ua/

9. Подушки Общие технические условия: СТБ 753-2000. [Введен 2011-01-06]. – Минск : Госстандарт, 2010. – 6 с. – (Государственный стандарт Республики Белорусь).

10. Одеяла и покрывала стеганые. Подушки. Общие технические условия : ГОСТ Р 55857-2013. [Введен 2015-01-01]. – М. : Стандартинформ, 2014. – 11 с.– (Государственный стандарт СССР).

11. Матеріали та вироби текстильні і шкіряні побутового призначення. Основні гігієнічні вимоги : ДСТУ 4239:2003. [Чинний від 2004-10-01]. – К. : Держспоживстандарт, 1985. – 23 с. – (Національні стандарти України).

12. Полотна нетканые (подоснова) антисептированные из волокон всех видов для тепло звукоизоляционного линолеума. Технические условия : ГОСТ 26604-85. [Введен 1987-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 22 с. – (Государственный стандарт СССР).

13. Полотна иглопробивные из лубяных волокон. Технические условия : ГОСТ 19813-74. [Введен 1975-01-07]. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 7 с. – (Государственный стандарт СССР).

14. Вата хлопчатобумажная одежная и мебельная. Технические условия : ГОСТ 5679-91. [Введен 1992-01-07]. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 17 с. – (Государственный стандарт СССР).

Рецензія/Peer review : 22.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Валько М.І.

УДК 613.485

О.М. КУНИК, Д.Г. САРІБЄКОВА, Г.С. САРІБЕКОВ, О.М. ВІТРЕНКО
Херсонський національний технічний університет

ВДОСКОНАЛЕННЯ СКЛАДУ ЛАНОЛІНОВОГО КРЕМУ, ЗБАГАЧЕНОГО БІОЛОГІЧНО-АКТИВНИМИ ДОБАВКАМИ

В статті проведені дослідження з вдосконалення складу ланолінового крему шляхом підрахунку ліпофільно-гідрофільного балансу жирової фази та модифікації компонентного складу. На основі отриманих результатів запропоновано склад ланолінового крему з екстрактом бурих водоростей концентрацією 7%, який має відмінні антиоксиданті та споживчі властивості.

Ключові слова: емульсійний крем, ланолін, біологічно активні добавки.

A.N. KUNIK, D.G. SARIBYEKOVA, H.S. SARIBEKOV, O.M. VITRENKO
Kherson National Technical University

IMPROVING OF COMPOSITION OF LANOLIN CREAM, ENRICHED WITH BIOLOGICALLY ACTIVE ADDITIVES

The paper studies the improving of composition of lanolin cream by counting the hydrophilic and lipophilic balance of fat phase and modifying component composition. The sensory, physical and chemical parameters of cold cream were determined according to DSTU 4765: 2007 «Cosmetic creams. General technical conditions». The antioxidant properties of the ferricyanide method were determined by the ability of the samples to recover iron ferricyanide complex is Prussian blue. On the basis of obtained results the composition of lanolin cream with extract of brown seaweed concentration of 7%, which has excellent antioxidant properties and consumer are proposed.

Keywords: emulsion cream, lanolin, biologically active additives.

Постановка проблеми

Серед косметичних засобів по догляду за шкірою найбільш популярними є емульсійні креми, які використовуються для захисту шкіри від висихання та знежирення під дією негативних факторів навколишнього середовища. Різновидом емульсійного крему є ланоліновий крем – косметичний засіб для шкіри з захисними, ранозагоювальними, живильними та відновлювальними властивостями.

Склад ланолінового крему зазвичай малокомпонентний [1] і включає лише основні діючі речовини: воду, ланолін, рицинову олію, стеаринову кислоту, гліцерин, буру, віддушку (табл. 1).

Таблиця 1

Класична рецептура ланолінового крему

Компонент	Концентрація, г/кг
Ланолін	30,0
Рицинова олія	100,0
Стеаринова кислота	100,0
Гліцерин	40,0
Бура	15,0
Дистильована вода	710,0
Віддушка	0,2

Класична рецептура ланолінового крему (табл. 1) має ряд значних недоліків, за рахунок яких типовий зразок ланолінового крему не має антиоксидантних властивостей, відрізняється неприємною в'язкою консистенцією, яка окрім того залишає липкість на шкірі після нанесення. Для вирішення вказаної проблеми необхідно детально розглянути роль кожного компонента у досліджуваному косметичному засобі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Отже, ланолін (харчова добавка Е 913) – продукт переробки вовняного жиру, є одним з найефективніших і найбільш живлячих жирів, який сприяє гарному зволоженню та пом'якшенню шкіри, забезпечує її захист від несприятливого впливу навколишнього середовища. Своїми прекрасними зволожуючими властивостями ланолін володіє завдяки здатності вбирати і утримувати в собі велику кількість вологи. Проникаючи глибоко в шкірні покриви, ланолін не тільки насичує шкіру цієї вологою, але і перешкоджає її втраті протягом тривалого часу. Застосування ланоліну дозволяє зробити шкіру м'якою і еластичною, а також значно посилює регенерацію її нових клітин [2–5]. Слід відмітити, що чистий ланолін представляє собою в'язку масу з неприємним запахом, тому застосування ланоліну у косметичних засобах по догляду за шкірою пов'язане з нівелюванням вказаних недоліків для покращення споживчих властивостей косметичного засобу. Для маскування запаху слід використовувати різноманітні синтетичні віддушки або натуральні ефірні олії. Для надання крему з ланоліном зручної для використання консистенції необхідно правильно підбирати емульгатор або навіть суміш емульгаторів та його (їх) кількісне співвідношення, враховуючи гідрофільно-ліпофільний баланс (ГЛБ) жирової фази косметичного засобу [6].

Наступний компонент класичної рецептури ланолінового крему – рицинова олія, яка застосовується у засобах по догляду за шкірою як протизапальний, антибактеріальний, поживний та зволожуючий засіб.

Рицинова олія ідеально підходить для догляду за сухою або пошкодженої шкірою обличчя і тіла [7]. Також вона делікатно освітлює шкіру, а тому часто використовується проти пігментних плям.

Стеаринова (октадеканова) кислота виступає у ролі структуроутворюючої складової. Косметичний крем зі стеариновою кислотою відрізняється однорідною консистенцією та матовістю. При нанесенні такого крему на шкіру відчувається ефект шовкової плівки [8]. Як косметичний інгредієнт стеаринову кислоту в основному отримують з тварин – переробленого жиру корів, овець, і частіше – зі шлунків свиней, а також, як це не сумно, від собак і кішок після евтаназії в притулках для тварин. З цих причин косметика, що містить стеаринову кислоту, відкидається веганами та вегетаріанцями [8].

Гліцерин являє собою триатомний спирт, який володіє антисептичними, зволожуючими (гігроскопічними) властивостями. У концентрації до 5% гліцерин виконує роль вологоуловлюючого компоненту, притягуючи воду до поверхні шкіри з навколишнього середовища. При цьому нижні шари дерми також насичуються вологою [9].

Бура (тетраборат натрію) використовується в косметичних засобах у якості антисептика, косметичного консерванту та агента, який сприяє процесу емульгування [10].

Основний компонент емульсійного крему типу «олія у воді» – вода, виконує роль універсального розчинника компонентів та зволожуючого агента для шкіри.

Обов'язковими складовими рецептур сучасних якісних емульсійних кремів є біологічно активні добавки – вітаміни, гормони, ферменти, продукти життєдіяльності бджіл, білки, амінокислоти, мінерали, ефірні олії та інші.

Серед широкого розмаїття речовин з біологічно-активними властивостями інгредієнтами косметики XXI сторіччя називають бурі водорості, прогнозуючи зростання їх використання в якості сировини, оскільки запаси цих біологічно активних речовин у Світовому океані вважаються невичерпними [11]. Зараз виробництвом біологічно активних речовин із морських водоростей займається лише декілька іноземних фірм. Найкраще налагоджене виробництво біологічно активних речовин із ламінарії. Крім неї, в косметиці використовуються фукусові водорості, бурі водорості Ascophyllum, Padina pavonica та мікроводорості (спіруліна, хлорела).

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є вдосконалення існуючого складу ланолінового крему, а також його збагачення біологічно активними речовинами екстракту бурих водоростей Ascophyllum для надання йому антиоксидантних властивостей.

Викладення основного матеріалу

Для вдосконалення базової рецептури ланолінового крему стеаринову кислоту було замінено на сучасний екологічно-чистий емульгатор рослинного походження Montanov 202, характеристики якого наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Фізико-хімічні характеристики емульгатора Montanov 202

Зовнішній вигляд	Гранули білого кольору
Температура плавлення	74 – 78°C
ГЛБ	8,0
Тип	Неіоногенний
Концентрація у косметичних засобах, г/л	1,5 – 5
Ефективний при pH	3 – 8

Відомо, що будь-який емульгатор прийнято характеризувати значенням «голова/хвіст», рис. 1.

Це значення вимірюється цілим числом від 1 до 20 і це число називається ГЛБ (згідно з теорією Гриффіна). Чим більше голова і чим менше хвіст, тим більше значення цього числа. Тобто у гідрофільних емульгаторів значення ГЛБ високі, а у ліпофільних навпаки – низькі.

Жири – жирні олії та віск (ланолін) також характеризуються значенням ГЛБ, оскільки жири по своїй структурі теж полярні молекули (складаються з двох частин) і у них так само є гідрофільна та ліпофільна частини.

Головне правило стабільного крему: щоб крем був стабільним і не розшаровувався, потрібно щоб співвідношення «голова/хвіст» – ГЛБ жирової фази було точно таке ж як у емульгаторів, тобто ГЛБ жирової фази = ГЛБ емульгаторів.

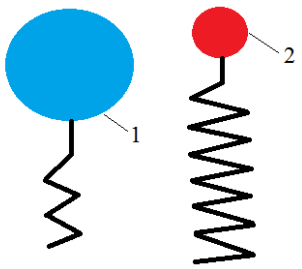
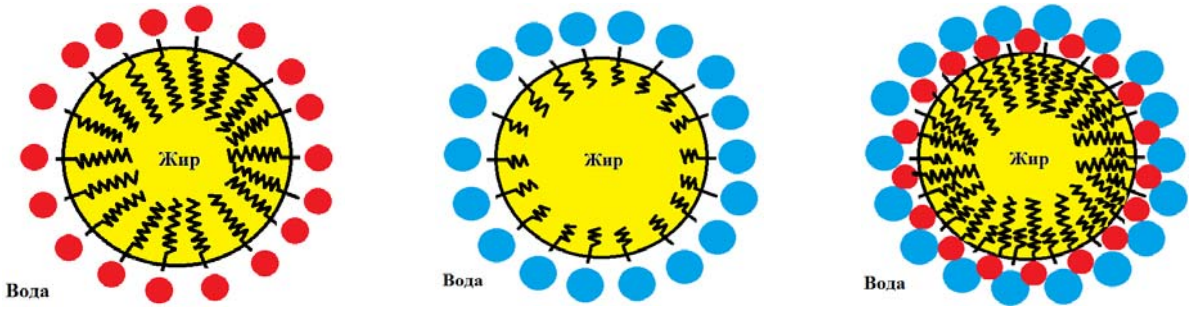


Рис. 1. Схема будови емульгаторів: 1 – гідрофільного, 2 – ліпофільного

Так само дослідним шляхом було встановлено [6], що емульсія (крем), до складу якого входить два емульгатори з різними значеннями ГЛБ, більш стабільна, ніж емульсія, приготована на основі одного емульгатора (рис. 2).



а) б) в)

Рис. 2. Схематичне зображення емульсійних кремів на основі:
а – гідрофільного емульгатора, б – ліпофільного емульгатора,
в – гідрофільного та ліпофільного емульгаторів

Згідно з представленими схемами (рис. 2) найбільш стабільною є емульсія, створена на основі двох різних емульгаторів – ліпофільного і гідрофільного, адже ліпофільний емульгатор забезпечує міцний зв'язок з жиром, а гідрофільний – з водою, крім цього емульгатори також можуть взаємодіяти один з одним, при цьому посилюється їх емульгуюча здатність.

Оскільки ГЛБ емульгатору Montanov 202 складає 8, то для утворення стійкої емульсії необхідне застосування емульгатора з більш високим ГЛБ. У якості такого емульгатора нами було обрано емульгатор Ceteareth-20 (полімер на основі цетеарілгліколя) с ГЛБ 15,2.

Кількісне співвідношення обраних емульгаторів було розраховано шляхом визначення сумарного ГЛБ емульгаторів та жирової фази.

Відсоток введення суміші емульгаторів визначався емпірично.

Таблиця 3

Варіанти базової рецептури ланолінового крему

Компоненти	Варіант крему					
	1	2	3	4	5	6
	Концентрація, г/кг					
Рицинова олія	150,0	130,0	100,0	80,0	30,0	0
Ланолін	30,0	50,0	80,0	100,0	150,0	180,0
Гліцерин	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
Montanov 202	12,90	15,95	20,85	23,85	31,55	36,20
Ceteareth-20	37,10	34,05	29,15	26,15	18,45	13,80
Preservasol	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
Вода	715,8	715,8	715,8	715,8	715,8	715,8
Віддушка	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Отримані зразки ланолінового крему досліджували для визначення органолептичних та фізико-хімічних характеристик (табл. 4, рис. 3).

Таблиця 4

Органолептичні та фізико-хімічні показники варіантів базового ланолінового крему

Показник	Варіант крему					
	1	2	3	4	5	6
Зовнішній вигляд	Однорідна маса без сторонніх домішок					
Колір	Білий		Кремовий	Жовтий		
Запах	Властивий запаху даного крему		Легкий запах ланоліну	Неприємний різкий запах ланоліну		
Колоїдна стабільність	Стабільний					
Термостабільність	Стабільний					
Водневий показник (pH)	7,0					

Також у складі базової рецептури ланолінового крему тетраборат натрію було замінено на сучасний консервант Preservasol.

Для вдосконалення базової рецептури ланолінового крему було проведено дослідження з вибору оптимальної концентрації ланоліну, для чого були приготовані зразки крему з концентрацією ланоліну від 30 до 180 г/кг. Для збереження типу емульсії («олія у воді») при збільшенні концентрації ланоліну у складі крему пропорційно зменшували кількість рицинової олії, перераховуючи ГЛБ жирової складової та відповідно кількісне співвідношення емульгаторів (табл. 3).

Згідно з приведеними даними (табл. 4) зі збільшенням концентрації ланоліну крем набуває жовтого кольору та неприємного ланолінового запаху, який неможливо замаскувати навіть додаванням збільшеної концентрації віддушки. За колоїдною та термостабільністю усі варіанти крему стабільні, pH усіх зразків крему 7,0.

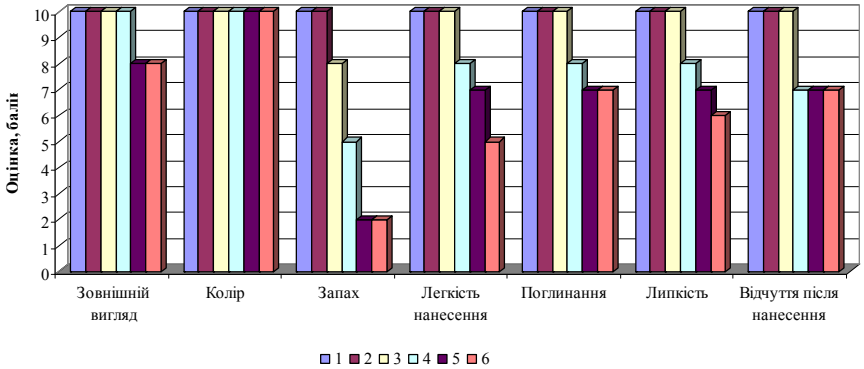


Рис. 3. Оцінка якості зразків ланолінового крему за скоринг-методом

За скоринг-методом (рис. 3) найкращі органолептичні характеристики мають перші три варіанти ланолінового крему, зразки під номером 4, 5 та 6 мають неприємний запах, погано наносяться, володіють липкістю, залишають на шкірі погане відчуття після нанесення.

Таким чином, в результаті проведених досліджень визначено, що найбільш оптимальним є склад ланолінового крему, приготований за другим варіантом – 5% ланоліну (50 г/кг).

Для надання вдосконаленому складу ланолінового крему антиоксидантних властивостей до його рецептури у якості біологічно активних речовин було введено водний витяг бурих водоростей Ascophyllum, який додавався до складу крему після процесу охолодження до температури 40 – 45°С у концентрації від 5 до 15%. Результати дослідження антиоксидантних властивостей, визначених за феррицианідним способом, представлені в табл. 5 [12].

Таблиця 5

Антиоксидантна активність зразків ланолінового крему

Аскорбінова кислота	Водний витяг водоростей Ascophyllum	Ланоліновий крем з додаванням водного витягу водоростей Ascophyllum			
Концентрація, %					
20	50	5	7	10	15
Оптична густина					
0,530	0,995	0,646	0,781	0,992	1,154

Згідно з отриманими даними (табл. 5) 50% водний розчин водоростей Ascophyllum володіє досить високими антиоксидантними властивостями, тому його застосування у складі ланолінового крему цілком виправдане. При додаванні водного витягу до складу ланолінового крему антиоксидантна активність крему зростає зі збільшенням концентрації витягу, сягаючи значення оптичної густини 1,154 при 15% концентрації витягу бурих водоростей.

Фізико-хімічні та органолептичні характеристики зразків ланолінового крему з додаванням водного витягу водоростей Ascophyllum представлено в табл. 6 та на рис. 4.

Таблиця 6

Органолептичні та фізико-хімічні показники ланолінового крему з додаванням водного витягу водоростей Ascophyllum

Назва показника	Концентрація екстракту водоростей Ascophyllum			
	5	7	10	15
Зовнішній вигляд	Однорідна маса без сторонніх домішок			
Колір	Білий	Сірий	Сірувато-зелений	
Запах	Властивий запаху даного крему	Легкий запах водоростей	Неприємний запах водоростей	
Водневий показник (pH)	7,0			
Колоїдна стабільність	Стабільна			
Термостабільність	Стабільна			

Дані, приведені в табл. 6, свідчать, що збільшення концентрації водного витягу бурих водоростей не впливає на pH, колоїдну та термостабільність ланолінового крему, проте слід відмітити значну зміну

кольору крему та появу неприємного запаху водоростей.

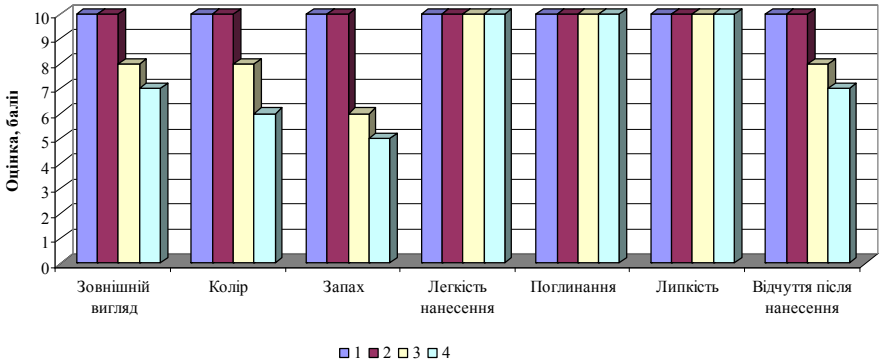


Рис. 4. Оцінка якості зразків ланолінового крему з екстрактом водоростей Ascophyllum за скоринг-методом

Згідно з даними, приведеними на рис. 4, найкращі органолептичні характеристики мають зразки ланолінового крему з концентрацією водного витягу бурих водоростей 5 та 7%, збільшення концентрації витягу до 15% погіршує органолептику крему.

Таким чином на основі отриманих результатів комплексних досліджень можна рекомендувати вдосконалений склад ланолінового крему з додаванням 7% екстракту бурих водоростей, який характеризується достатніми антиоксидантними властивостями та має задовільні органолептичні характеристики.

Висновки

1. Шляхом підрахунку гідрофільно-ліпофільного балансу компонентів емульсійного крему розроблено оптимальний склад базового варіанту ланолінового крему із вмістом ланоліну 5%.
2. Визначено, що додавання до базового варіанту ланолінового крему із вмістом ланоліну 5% екстракту бурих водоростей концентрацією 7% забезпечує відмінні антиоксидантні та органолептичні властивості.
3. У результаті фізико-хімічних досліджень встановлено, що ланоліновий крем запропонованого складу із додаванням водного витягу водоростей Аскофіллум відповідає вимогам ДСТУ 4765: 2007 «Креми косметичні. Загальні технічні умови».

Література

1. Кривова А.Ю. Технология производства парфюмерно-косметических продуктов / А.Ю. Кривова, В.Х. Паронян. – М. : ДеЛи принт, 2009. – 668 с.
2. Ластухін Ю.О. Харчові добавки. Е-коди. Будова. Одержання. Властивості / Ю.О. Ластухін. – Львів : Центр Європи, 2009. – 836 с.
3. Ланолин фармакологический. Косметологам, фармацевтам, ветеринарам [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://lanolin.in.ua/o-lanoline// (дата обращения: 13.01.2017).
4. Васильева Л.Г. Шерстный жир – ланолин. Сырье и технология / Л.Г. Васильева, Н.К. Тимошенко // Волгоград : Типография Химпром, 2002. – 160 с.
5. The Lanolin Book (edited by Udo Hoppe). – Published by Beiersdorf AG, Hamburg, 1999. – 285 p.
6. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии / С.С. Воюцкий. – М. : Химия, 1975. – 512 с.
7. Касторовое масло для лица [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.naturalmask.ru/kastorka-maslo.html (дата обращения: 13.01.2017).
8. Стеариновая кислота в косметике [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://cosmetic.ua/stearinovaya_kislota_v_kosmetike (дата обращения: 13.01.2017).
9. Глицерин [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://haircolor.org.ua/ingredienty-kosmetiki/186-glitserin-glycerin.html (дата обращения: 13.01.2017).
10. Е285 Тетраборат натрия (бура) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://ruslekar.info/E285-Tetraborat-natriya-bura-962.html (дата обращения: 13.01.2017).
11. Пешук Л.В. Технологія парфумерно-косметичних продуктів / Л.В. Пешук, Л.І. Бавіка, І.М. Демідов. – К. : Центр учбової літератури, 2007. – 376 с.
12. Розанова С.Л. Антиоксидантная активность экстрактов плаценты после низкотемпературного и гипотермического хранения / С.Л. Розанова, Е.Д. Розанова, О.А. Нардид, В.Г. Карпенко // Проблемы криобиологии. – 2011. – Т. 21, №3. – С. 291–300.

Рецензія/Peer review : 19.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 004.81

В.Ю. ТІТОВА, В.В. БОЧУЛЯК
Хмельницький національний університет

АЛГОРИТМ ТА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОШУКУ ШЛЯХУ ІГРОВИМ БОТОМ НА БАЗІ РОЙОВОГО ІНТЕЛЕКТУ

У статті розглянуто методи пошуку шляхів ігровими ботами в комп'ютерних відеоіграх. Визначено їх переваги та недоліки та зроблено висновок, що для більш реалістичної поведінки ботів доцільно застосовувати методи, які використовують спільну пам'ять вже пройдених шляхів, а саме методи на базі ройового інтелекту. Автором запропоновано математичну модель методу пошуку шляху ігровим ботом та проведено моделювання його роботи.

Ключові слова: *комп'ютерні відеоігри, ігровий бот, штучний інтелект, ройовий інтелект.*

V.YU. TITOVA, V.V. BOCHULYAK
Khmelnytsky National University

GAMING BOT PATH SEARCH ALGORITHM AND MATHEMATICAL MODEL BASED ON SWARM INTELLIGENCE

This article describes gaming bots path search algorithms such as "face and return" and systematic search. Was identified the shortcomings of these algorithms and proposed for use the algorithm based on swarm intelligence. The author has presented the mathematical model of this algorithm, which allows formalizing of the search problem. Work of all three algorithms was simulated and was conducted comparative analysis of simulation results at the article. The simulation results allow concluding, that algorithm based on swarm intelligence can reduce time for shortest path search by memorizing the shortest path of one of the bots and transmitting information about it to other bots. The algorithm and the mathematical model presented in the article are the basis for the creation of gaming bot intelligent behaviour in computer games.

Keywords: *computer videogames, gaming bot, artificial intelligence, swarm intelligence.*

Вступ. У традиційних дослідженнях в галузі штучного інтелекту метою є створення справжнього інтелекту, здатного до навчання, соціальної взаємодії та прояву емоцій. Але у комп'ютерних іграх вимоги до штучного інтелекту значно менші [1].

Такому інтелекту не потрібно бути наділеним почуттями і самосвідомістю, не потрібно самонавчатися поза межами ігрового процесу. Справжня мета штучного інтелекту в іграх полягає в імітації розумної поведінки і в наданні гравцеві переконливих, правдоподібних супротивників – так званих ігрових ботів [1].

Основним принципом, що лежить в основі роботи ігрового штучного інтелекту, є прийняття рішень. І однією з важливих задач, що постають перед ним у процесі прийняття рішень, є сприйняття оточуючого середовища та пошук шляхів у ньому для переміщення від однієї точки до іншої.

Характеристика предметної області. Найпростішим алгоритмом переміщення ігрового бота з точки А в точку Б є алгоритм, умовно званий «зіткнутися та повернути» [1]. Його суть полягає у наступному.

1. Бот рухається у вибраному напрямку.
2. У випадку виникнення перешкоди рух змінюється у напрямку, при якому шлях до точки Б буде найкоротшим. Якщо визначити найкоротший шлях неможливо, вибір напрямку здійснюється випадковим чином.

Такий алгоритм непогано працює для нескладних ігор, але при його використанні ігрові боти часто опиняються у кутах або тупиках та не можуть з них вибратися, раз за разом тикаючись у стіни, що робить їх поведінку «безтолковою та неправдоподібною». Крім того, даний алгоритм не передбачає координації груп ботів та запам'ятовування ними найкращих шляхів від однієї точки до іншої, що змушує ботів раз за разом ходити одними і тими самим шляхами, застрягаючи в одних і тих самих кутах, що є суттєвим недоліком для будь-якої гри.

Тому, у сучасних комп'ютерних іграх, можливості ботів розширюють за рахунок надання їм пам'яті [1]. Це надає ботам можливість запам'ятовувати місця, в яких вони вже бували, та приймати грамотні рішення проте, куди їм рухатися далі. Якщо ж рухатися далі неможливо, алгоритм надає ботам можливість повертатися назад та шукати інший шлях. Таким чином, боти виконують систематичний пошук шляху від точки до точки.

Ось як це виглядає:

1. Бот рухається у вибраному напрямку.
2. Якщо шлях розгалужується, обирається один з можливих напрямків.
3. Якщо обраний шлях приводить в глухий кут, бот повертається до останнього розгалуження та обирає інший напрямок.
4. Якщо усі можливі шляхи пройдені безрезультатно, пошук шляхів припиняється.

Перевага цього алгоритму полягає в невисокому навантаженні на обчислювальні ресурси. Це означає, що можна підтримувати велику кількість ботів без уповільнення гри. Цей алгоритм також може використовувати переваги багатопоточної архітектури [1].

Єдиним недоліком є використання величезного обсягу пам'яті, оскільки кожен бот може відслідковувати цілу карту можливих шляхів, відшукуючи заново і ті, які вже були пройдені іншими ботами.

Щоб уникнути нераціонального використання пам'яті, доцільно використовувати для ботів спільну пам'ять, в якій буде зберігатися інформація про вже відомі шляхи. І зазначена інформація буде використовуватися ботами при прийнятті рішення щодо вибору напрямку свого руху. Таким чином, поведінка ботів буде відповідати поведінці «ройових агентів», прийняття рішень у яких базується на алгоритмах та методах ройового інтелекту.

Ройовий інтелект (англ. Swarm intelligence) описує колективну поведінку децентралізованої самоорганізації. Розглядається в теорії штучного інтелекту, як метод оптимізації. Термін був введений Херардо Бені і Ван Цзінем в 1989 році, в контексті системи клітинних роботів [2].

Системи ройового інтелекту, як правило, складаються з безлічі агентів (боідов), локально взаємодіючих між собою і з навколишнім середовищем. Ідеї поведінки, як правило, виходять з природи, а особливо, з біологічних систем. Кожен боід слідує дуже простим правилам і, незважаючи на те, що немає якоїсь централізованої системи управління поведінки, яка б вказувала кожному з них на те, що йому слід робити, локальні і, в деякій мірі, випадкові взаємодії призводять до виникнення інтелектуальної глобальної поведінки, неконтрольованої окремими боідамі. В цілому, ройовий інтелект повинен являти собою багатоагентну систему, яка б володіла самоорганізуючою поведінкою [2].

Алгоритм взаємодії ігрових ботів на основі ройового інтелекту. Для його реалізації введемо наступні поняття з використанням теорії множин [3]. Нехай існує скінчена множина ігрових ботів B, $B = \{b_1, b_2, ..., b_n\}$.

Кожен з ботів в один момент часу може перебувати в одному з станів зі скінченої множини S, $S = \{s_1, s_2, ..., s_m\}$ та виконувати одну з дій зі скінченої множини D, $D = \{d_1, d_2, ..., d_o\}$.

Кожен бот через спільну пам'ять може обмінюватися інформацією з іншими ботами, повідомляючи про свій поточний стан та взнаючи про їх поточні стани. В залежності від отриманої інформації ним приймається рішення про вибір наступної дії d_{p+1}^k, тобто $d_{p+1}^k = f(s_p^1, s_p^2, ..., s_p^n)$, де $k-$ номер боту, який приймає рішення, $p-$ поточний номер дії та стану усіх ботів, $n-$ кількість усіх ігрових ботів, які взаємодіють у системі.

Перед кожним з ботів може поставати задача зі скінченої множини Z, $Z = \{z_1, z_2, ..., z_q\}$. Під вирішенням поточної задачі z_p будемо розуміти досягнення ботом b_k такого стану $s_p^k = s_b$, при якому досягається мінімум деякого функціоналу F_b, $F_b = f(d_1^k, s_1^k, ...d_{p-1}^k, s_{p-1}^k)$, де $d_1^k, s_1^k, ...d_{p-1}^k, s_{p-1}^k$ - множина дій та станів, які необхідно виконати або пройти, щоб досягнути стану s_p^k.

Розглянемо принцип дії алгоритму на прикладі вирішення задачі пошуку ботом шляху з точки А до точки Б. При цьому під мінімумом функціоналу F_b будемо розуміти пошук найкоротшої відстані між цими двома точками.

При цьому можливі три варіанти розвитку подій.

Варіант 1. У спільній пам'яті наявна інформація про шляхи з точки А до точки Б, тобто множина можливих шляхів $L \neq \{\}$, $L = \{l_1, l_2, ..., l_a\}$, де $a-$ кількість можливих шляхів з точки А до точки Б. Тоді дія бота полягає у виборі найкоротшого шляху, $d_{p+1}^k = \min(l_1, l_2, ..., l_a)$.

Варіант 2. У спільній пам'яті відсутня інформація про шляхи з точки А до точки Б, $L = \{\}$, але один або кілька ботів мають інформацію про точку Б (тобто знаходяться у цій точці). Тоді дії боту будуть наступними:

1. Після отримання задачі бот визначає свій поточний стан (в даному випадку місцезнаходження) та повідомляє його іншим ботам, а від них отримує інформацію про їх поточні стани (місцезнаходження).

2. Якщо між ботом b_k та ботами, які мають інформацію про точку Б немає перешкод, тоді $d_{p+1}^k = \min((s_p^k - s_p^1), (s_p^k - s_p^2), ..., (s_p^k - s_p^a))$, де $a-$ кількість ботів, які мають інформацію про точку Б. Якщо ж перешкоди наявні, тоді виконується перехід до п.3.

3. Бот визначає проміжкову точку Б`, яка відповідає поточному стану одного з ботів, які не знаходяться у точці Б, але є близькими до неї. Якщо між точкою Б` та точкою А немає перешкод, тоді $d_{p+1}^k = \min((s_p^c - s_p^1), (s_p^c - s_p^2), ..., (s_p^c - s_p^a)) + \min((s_p^k - s_p^1), (s_p^k - s_p^2), ..., (s_p^k - s_p^c))$, де $a-$ кількість ботів, які мають інформацію про точку Б, а $c-$ кількість ботів, які не знаходяться у точці Б, але є близькими до неї. Якщо ж між точкою А та точкою Б` є перешкоди, то дії п. 3 повторюються доти, доки не буде знайдено точку, до якої перешкоди відсутні. А загальний шлях, який прокладається ботом, буде визначатися за

формулою $d_{p+1}^{k} = \sum_{i=1}^{j-1} \min((s_p^k - s_p^1),(s_p^k - s_p^2),...,(s_p^k - s_p^e))$, де j – кількість проміжкових точок, які необхідно пройти на шляху до точки Б.

Варіант 3. У спільній пам'яті відсутня інформація про шляхи з точки А до точки Б, $L = \{\}$, і жоден з ботів не має інформації про точку Б. В цьому випадку дії боту будуть відповідати діям у алгоритмі систематичного пошуку з вдосконаленням, яке полягає у тому, що при досягненні кожного нового розгалуження бот опитує інших ботів про зміну їх станів та при надходженні інформації про точку Б, починає діяти за варіантом 2.

Графічно алгоритм дій боту можна зобразити наступним чином:

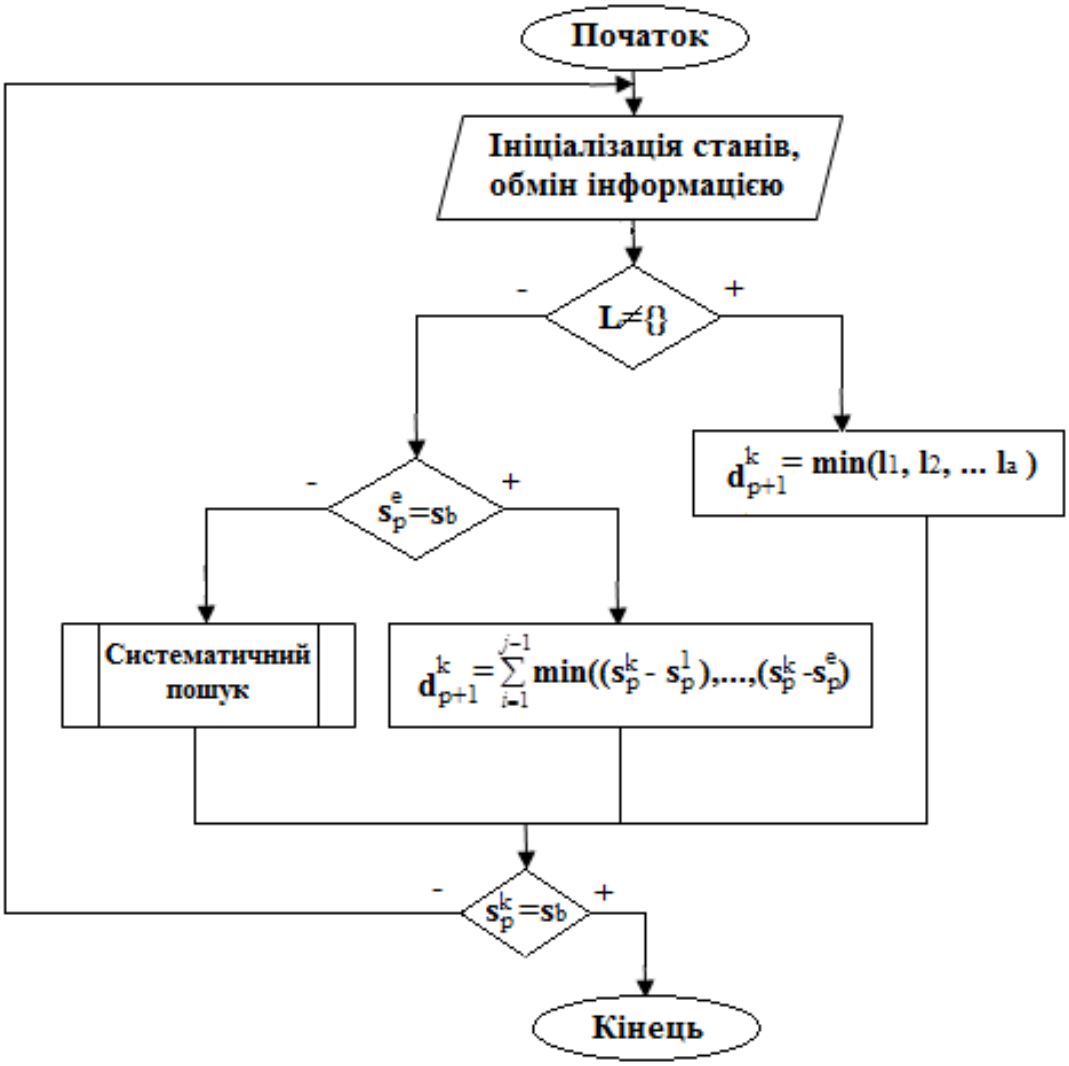


Рис. 1. Алгоритм пошуку ботом шляху з точки А до точки Б

Результати роботи трьох алгоритмів було змодельовано за допомогою відеогри, яка містить лабіринт. Перед п'ятьма ігровими ботами стояла задача знайти найкоротший шлях по ньому.

Результати моделювання представлені у таблиці 1. Для кожного з алгоритмів кількість експериментів становила десять. В якості результатів обирався час, який знадобився кожному конкретному боту для того, щоб пройти лабіринт. Бот, перед яким ставилася задача пошуку шляху, обирався випадковим чином.

Мінімальний час пошуку становив 11 с. При цьому, боти, які шукали шлях за допомогою алгоритму «зіткнутися та повернути» так і не змогли досягнути цього показника, через часті потраплянні в кути та простоювання у них. Один з ботів, які шукали шлях за допомогою алгоритму систематичного пошуку, зміг досягнути цього показника один раз, проте через відсутність обміну результатами, він не зміг передати цю інформацію іншим ботам, і кожен з них був змушений шукати свій власний шлях.

Боти, які шукали шлях за допомогою алгоритму на базі ройового інтелекту, після знаходження найкоротшого шляху, мали змогу його запам'ятовувати та передавати інформацію про нього іншим ботам, а ті, в свою чергу, використовували цю інформацію при власному пошуку.

Таблиця 1

Результати моделювання роботи алгоритмів пошуку шляху ботом

№ експе-рименту	Алгоритм «зіткнутися і повернути»	Алгоритм систематичного пошуку	Алгоритм на базі ройового інтелекту
1	16 с	17 с	20 с
2	22 с	14 с	16 с.
3	25 с	13 с	14 с
4	16 с	13 с	13 с
5	20 с	13 с	12 с
6	20 с	11 с	11 с
7	24 с	14 с	11 с
8	35 с	16 с	11 с
9	23 с	20 с	11 с
10	23 с.	14 с	11 с
Сер. зн.	22,4 с	14,5 с	13 с

Висновки. У даній статті розглянуто алгоритми пошуку шляху ігровими ботами такі, як «зіткнутися та повернути» та систематичний пошук. Визначено недоліки цих алгоритмів та запропоновано для використання ігровими ботами алгоритм на базі ройового інтелекту. Автором представлено математичну модель зазначеного алгоритму, яка дозволяє провести формалізацію задачі пошуку.

Також у статті було змодельовано роботу усіх трьох алгоритмів та проведено їх порівняльний аналіз. Результати моделювання дозволяють зробити висновки, що алгоритм на базі ройового інтелекту дозволяє зменшити час пошуку найкоротшого шляху ботами за рахунок запам’ятовування найкоротшого шляху одним з ботів та передачі інформації про нього іншим ботам.

Наведені у статті алгоритм та математична модель є основою для створення інтелектуального методу поведінки ігрового боту у комп’ютерних відеоіграх.

Література

1. Algorithms and Networking for Computer Games / Jouni Smed, Harri Hakonen. – John Wiley & Sons, 2006. – 226 p.

2. Субботін С. О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей : монографія / С.О. Субботін, А.О. Олійник, О.О. Олійник ; під заг. ред. С. О. Субботіна. — Запоріжжя : ЗНТУ, 2009. — 375 с.

3. Верещагин Н.К. Лекции по математической логике и теории алгоритмов. Часть 1. Начала теории множеств / Н. К. Верещагин, А. Шень. – 3-е изд., стереотип. – М. : МЦНМО, 2008. – 128 с.

Рецензія/Peer review : 2.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Боровик О.В.

УДК 621.317

В.В. КОТЕНЕВ, В.В. МАРТЫНЮК
Хмельницкий национальный университет

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ЗАЩИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ВОДЫ

В работе выполнен анализ процесса контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты электрических нагревателей воды. Установлено, что нелинейный характер процесса непрерывного контроля приводит к уменьшению методической достоверности процесса непрерывного контроля при использовании линейной математической модели. Разработана нелинейная математическая модель процесса непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты электрических нагревателей воды, которая наиболее точно описывает его параметры и характеристики, а также является чрезвычайно важной для уменьшения среднего риска контроля.

Ключевые слова: электрический нагреватель воды, математическая модель, защитный потенциал, достоверность контроля.

V.V. KOTENEV, V.V. MARTYNYUK
Khmelnytskyi National University

MATHEMATICAL MODEL OF THE CONTINUOUS PROTECTION POTENTIAL CONTROL PROCESS FOR ANTI-CORROSION PROTECTION OF THE ELECTRIC WATER HEATERS

The paper analyzed the process control of the protective potential corrosion protection for electric water heaters. It is found that the nonlinear nature of the continuous process control methodology reduces the reliability of the continuous process control using linear mathematical model. A nonlinear mathematical model is developed for the continuous control process of the protective capacity of anti-corrosion protection for electric water heaters. The developed mathematical model most accurately describes its features and characteristics, as well as being extremely important to reduce the average risk control.

Keywords: electric water heater, protection potential, control reliability, cathodic protection of the outer current.

Введение

Основным фактором снижения скорости коррозии электрических нагревателей воды (ЭНВ) и продления их срока эксплуатации является повышение общей достоверности контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты ЭНВ [1]. В общем случае процесс контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты ЭНВ состоит из трех основных этапов.

1. Этап – измерение значения защитного потенциала $U_{ЗП}$ антикоррозионной защиты ЭНВ.

2. Этап – принятие решения о попадании или непопадании защитного потенциала $U_{ЗП}$ антикоррозионной защиты ЭНВ в заданный допуск $U_{ЗП\min} \le U_{ЗП} \le U_{ЗП\max}$. В соответствии с немецкими стандартами DIN 50927-2013 [2] антикоррозионная защита ЭНВ обеспечивается при максимальном значении $U_{ЗП\max} = -540\,мВ$. Минимальное значение защитного потенциала $U_{ЗП\min} = -1{,}1\,В$ ограничено напряжением разложения воды и выделением водорода и кислорода с образованием гремучего газа. Образование гремучего газа является недопустимым по соображениям техники безопасности.

3. Этап – регулировка тока катодной защиты $I_{КЗ}$ для получения значения защитного потенциала $U_{ЗП}$ антикоррозионной защиты ЭНВ в заданном допуске $U_{ЗП\min} \le U_{ЗП} \le U_{ЗП\max}$.

На основании анализа этапов процесса контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты ЭНВ можно сделать вывод, что известны два типа таких процессов.

1. Процесс непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты корпусов ЭНВ, в котором измерение $U_{ЗП}$ осуществляется при непрерывном постоянном токе катодной защиты $I_{КЗ}$, а поддержка $U_{ЗП}$ осуществляется регулировкой величины непрерывного постоянного тока катодной защиты $I_{КЗ}$ [3].

2. Процесс контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты корпусов ЭНВ по прерыванию постоянного тока катодной защиты $I_{КЗ}$, в котором измерение и поддержка защитного потенциала корпусов ЭНВ $U_{ЗП}$ осуществляется регулировкой амплитуды импульсов тока катодной защиты $I_{КЗ}$ [4].

Повышение общей достоверности контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты корпусов ЭНВ осуществляется путем повышения двух ее составляющих: методической достоверности контроля и инструментальной достоверности контроля. Для повышения методической достоверности контроля необходимо разработать математическую модель процесса непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты корпусов ЭНВ.

Математическая модель процесса непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты корпусов ЭНВ

Математическая модель процесса непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты корпусов ЭНВ базируется на электрохимической системе, в состав которой входят следующие элементы:

1) корпус ЭНВ (катод), внутри которого находится вода (раствор электролита);

2) вода (раствор электролита);

3) смешанный оксидно-металлический титановый анод (СОМТА), который в англоязычной литературе имеет название Mixed Metal Oxides (MMO) Coated Titanium Anode [5].

Для обеспечения антикоррозионной защиты корпуса ЭНВ (катода), автоматическое устройство катодной защиты создает ЭДС E между корпусом ЭНВ (катодом) и СОМТА (анодом). В результате образуется замкнутая цепь, состоящая из ЭДС E, корпуса ЭНВ (катода), раствора электролита и СОМТА (анода).

Для такой замкнутой цепи справедлив второй закон Кирхгофа:

$$E = U_{ЗП} + U_K + U_Э + U_A + U_{Пр} + U_{ПА}, \quad (1)$$

где E – ЭДС автоматического устройства катодной защиты;

$U_{ЗП}$ – напряжение защитного потенциала корпуса ЭНВ (катода);

U_K – падение напряжения на активном сопротивлении корпуса ЭНВ (катоде);

$U_Э$ – падение напряжения на активном сопротивлении электролита между конструкцией и СОМТА (анодом);

U_A – падение напряжения на активном сопротивлении СОМТА (аноде);

$U_{Пр}$ – падение напряжения на активном сопротивлении соединительных проводов;

$U_{ПА}$ – напряжение поляризации СОМТА (анода).

Подставляя в выражение (1) выражения для падений напряжений на активных сопротивлениях корпуса ЭНВ (катода), электролита, СОМТА (анода) и соединительных проводов при прохождении через них постоянного тока катодной защиты $I_{КЗ}$, получим:

$$E = U_{ЗП} + I_{КЗ}\left(R_K + R_Э + R_A + R_{Пр}\right) + U_{ПА}, \quad (2)$$

где $I_{КЗ}$ – постоянный ток катодной защиты;

R_K – активное сопротивление корпуса ЭНВ (катода);

$R_Э$ –активное сопротивление электролита;

R_A – активное сопротивление СОМТА (анода);

$R_{Пр}$ – активное сопротивление соединительных проводов.

Для измерения защитного потенциала корпуса ЭНВ (катода) $U_{ЗП}$ в известных автоматических устройствах катодной защиты используется электрод сравнения (ЭС), который размещен возле корпуса ЭНВ в воде (в растворе электролита).

При таком включении ЭС автоматического устройства катодной защиты разделяет активное сопротивление электролита $R_Э$ на две части: $R_{ЭК}$ и $R_{ЭА}$. На каждом из активных сопротивлениях электролита $R_{ЭК}$ и $R_{ЭА}$ возникают соответствующие падения напряжений $U_{ЭК}$ и $U_{ЭА}$. Тогда выражения второго закона Кирхгофа (1) и (2) будут иметь вид:

$$E = U_{ЗП} + U_K + U_{ЭК} + U_{ЭА} + U_A + U_{Пр} + U_{ПА}, \quad (3)$$

$$E = U_{ЗП} + I_{КЗ}\left(R_K + R_{ЭК} + R_{ЭА} + R_A + R_{Пр}\right) + U_{ПА}. \quad (4)$$

На основании выражения (4) запишем математическую модель процесса непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты ЭНВ:

$$U_{ЗП} = E - I_{КЗ}\left(R_K + R_{ЭК} + R_{ЭА} + R_A + R_{Пр}\right) - U_{ПА}. \quad (5)$$

Результаты экспериментальных исследований устройств антикоррозионной защиты показывают, что значения активных сопротивлений электролита $R_{ЭК}$ и $R_{ЭА}$ значительно отличаются для разных значений тока катодной защиты $I_{КЗ}$. Это объясняется сложными физико-химическими процессами, которые происходят в электролите при прохождения через него тока катодной защиты $I_{КЗ}$.

Нелинейный характер процесса непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты ЭНВ обусловленный фарадеевским током, который зависит от значений тока катодной защиты $I_{КЗ}$.

Нелинейный характер процесса непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты ЭНВ приводит к уменьшению методической достоверности процесса непрерывного контроля при использовании линейной математической модели (5).

Для повышения методической достоверности процесса непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты ЭНВ авторы предлагают нелинейную математическую модель процесса непрерывного контроля:

$$U_{ЗП} = E - I_{КЗ}\left(R_K + R_{ЭК}(I_{КЗ}) + R_{ЭА}(I_{КЗ}) + R_A + R_{Пр}\right) - U_{ПА}\,. \quad (6)$$

Нелинейной математической модели процесса непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты ЭНВ соответствует нелинейная эквивалентная схема замещения, которая изображена на рис. 1.

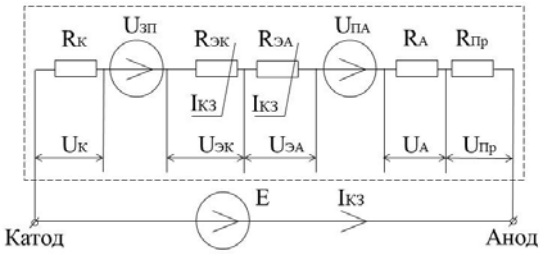


Рис. 1. Нелинейная эквивалентная схема замещения, моделирующая параметры в процессе непрерывного контроля защитного потенциала ЭНВ

Повышение достоверности контроля процесса непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты ЭНВ, а значит и качества антикоррозионной защиты, возможно за счет использования параметров эквивалентной схемы замещения (рис. 1) в диапазоне изменения значений тока катодной защиты $I_{КЗ}$.

На основе анализа эквивалентной схемы замещения (рис. 1) можно сделать вывод, что значения активных сопротивлений R_K, R_A и $R_{ПР}$, а также напряжение поляризации СОМТА (анода) $U_{ПА}$, не зависят от тока катодной защиты $I_{КЗ}$. Эти параметры процесса непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты ЭНВ являются линейными.

Нелинейный характер процесса непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты ЭНВ обусловленный нелинейными активными сопротивлениями электролита $R_{ЭК}(I_{КЗ})$ и $R_{ЭА}(I_{КЗ})$.

Исходя из этого, эквивалентное активное сопротивление эквивалентной схемы замещения, моделирующей параметры в процессе непрерывного контроля защитного потенциала ЭНВ (рис. 1), является нелинейным:

$$R_{экв}(I_{КЗ}) = R_K + R_{ЭК}(I_{КЗ}) + R_{ЭА}(I_{КЗ}) + R_A + R_{Пр}\,. \quad (7)$$

Тогда, нелинейную математическую модель процесса непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты ЭНВ (6), можно записать в виде:

$$U_{ЗП} = E - I_{КЗ}R_{экв}(I_{КЗ}) - U_{ПА}\,. \quad (8)$$

Отсюда следует, что в процессе непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты ЭНВ формируется ток катодной защиты $I_{КЗ}$, в результате прохождения этого тока через нелинейное эквивалентное активное сопротивление $R_{экв}(I_{КЗ})$ создается и измеряется защитный потенциала катода $U_{ЗП}$.

В общем виде нелинейную математическую модель процесса непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты ЭНВ (8) можно записать выражением:

$$U_{ЗП} = R\left[I_{КЗ}\right]. \quad (9)$$

где $R[\bullet]$ – математический оператор, который преобразовывает ток катодной защиты $I_{КЗ}$ в защитный потенциал катода $U_{ЗП}$.

Будем считать, что ток катодной защиты $I_{КЗ}$ наблюдается без погрешности, а измеряемый защитный потенциал катода $U_{ЗП}$ наблюдается с погрешностью:

$$U^*{}_{ЗП} = U_{ЗП} + \Delta U_{ЗП}\,. \quad (10)$$

где $\Delta U_{ЗП}$ – стационарный случайный процесс с известными характеристиками.

Отсюда можно сделать вывод, что в процессе непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты ЭНВ необходимо получить оценку оператора $R^*[\bullet]$, который приближается к оператору $R[\bullet]$.

Учитывая, что оператор $R[\bullet]$ является неизвестным, для описания процесса непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты ЭНВ используется его математическая модель $R_м[\bullet]$.

Критерием, по которому оценивается близость операторов $R^*[\bullet]$ и $R_м[\bullet]$, является близость измеряемого защитного потенциала катода $U^*{}_{ЗП}$ до защитного потенциала катода модели $U_{ЗПм}$ при одинаковых значениях тока катодной защиты $I_{КЗ}$.

Введем неотрицательную функцию потерь $\eta\left[U^*{}_{ЗП}, U_{ЗПм}\right]$, которая зависит от измеряемого защитного потенциала катода $U^*{}_{ЗП}$ и его модели $U_{ЗПм}$, а также определяет значение потерь. Средние потери или средний риск определяется математическим ожиданием функций потерь $\eta\left[U^*{}_{ЗП}, U_{ЗПм}\right]$:

$$\overline{\Psi} = M\left\{\eta\left[U^*{}_{ЗП}, U_{ЗПм}\right]\right\}. \quad (11)$$

С другой стороны, средний риск определяется с помощью выражения:

$$\overline{\Psi} = \iint \eta\left(U^*{}_{ЗП}, U_{ЗПм}\right) f\left(U^*{}_{ЗП}, U_{ЗПм}\right) dU^*{}_{ЗП} dU_{ЗПм}. \quad (12)$$

где $f\left(U^*{}_{ЗП}, U_{ЗПм}\right)$ – функционал плотности вероятности защитного потенциала катода.

Выражение (12) можно упростить, если нелинейное эквивалентное активное сопротивление $R_{экв}(I_{КЗ})$ является монотонной функцией, а ток катодной защиты $I_{КЗ}$ является стационарным:

$$\overline{\Psi} = \int\limits_{i_{КЗ} \in I_{КЗ}} \eta\left[R^*{}_{экв}(i_{КЗ})\right] \eta\left[R_{эквМ}(i_{КЗ})\right] di_{КЗ}, \quad (13)$$

где $I_{КЗ}$ – область определения тока катодной защиты.

Отклонение нелинейного эквивалентного активного сопротивления $R^*{}_{экв}(i_{КЗ})$ от нелинейного эквивалентного активного сопротивления модели $R_{эквМ}(i_{КЗ})$ можно оценить по критерию равномерного приближения (максимального отклонения характеристик):

$$m = \max_{i_{КЗ} \in I_{КЗ}} \left|R^*{}_{экв}(i_{КЗ}) - R_{эквМ}(i_{КЗ})\right|. \quad (14)$$

Выберем математическую модель нелинейного эквивалентного активного сопротивления $R_{эквМ}(i_{КЗ})$ такой, чтобы она удовлетворяла критерию равномерного приближения (14) в диапазонах изменения определения тока катодной защиты $i_{КЗ}$. Определим средний риск непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты ЭНВ для функций потерь $\eta = \left|R^*{}_{экв}(i_{КЗ}) - R_{эквМ}(i_{КЗ})\right|^k$

$$\overline{\Psi} = \int\limits_{i_{КЗ} \in I_{КЗ}} \left|R^*{}_{экв}(i_{КЗ}) - R_{эквМ}(i_{КЗ})\right|^k f\left(i_{КЗ}\right) di_{КЗ} \le \int\limits_{i_{КЗ} \in I_{КЗ}} m^k f\left(i_{КЗ}\right) di_{КЗ} = m^k. \quad (15)$$

Выводы

1. Анализируя выражения среднего риска контроля (15) можно сделать вывод, что разработка нелинейной математической модели процесса непрерывного контроля защитного потенциала антикоррозионной защиты ЭНВ, которая наиболее точно описывает его параметры и характеристики, является чрезвычайно важным для уменьшения среднего риска контроля.

2. Преимуществом полученного выражения среднего риска контроля (15) по сравнению с выражением (12) является возможность расчета верхней границы среднего риска контроля, которая не зависят от плотности вероятности $f\left(i_{КЗ}\right)$ тока катодной защиты $i_{КЗ}$.

Литература

1. Мартынюк В. В. Анализ приборов контроля защитного потенциала электрических нагревателей воды / В. В. Мартынюк, В. В. Котенев // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький, 2015. – № 4. – С. 139–143.

2. DIN 50927-2013 Planning and application of electrochemical corrosion protection of internal surfaces of apparatus, containers and tubes (internal protection) STANDARD by Deutsches Institut Fur Normung E.V. (German National Standard), 08/01/1985.

3. Экилик В.В. Теория коррозии и защиты металлов / В.В. Экилик. – Ростов : Изд-во РГУ, 2004. – 67 с.

4. Rickert H. Elektrochemische Untersuchungen zum kathodischen Korrosionsschutz mit Unterbrecherpotentiostaten / H. Rickert, G. Holzäupfel, Ch. Fianda // Werkstoffe und Korrosion. – 1987. – V. 38, Issue 11. – P. 691–695.

5. Bagastyo A.Y. Electrochemical oxidation of reverse osmosis concentrate on mixed metal oxide (MMO) titanium coated electrodes / A.Y. Bagastyo, J. Radjenovic, Y. Mu, D.J. Batstone, K. Rabaey // Water Research. – 2011. – V. 45, Issue 16. – P. 4951–4959.

Рецензія/Peer review : 9.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Бойко Ю.М.

УДК 004.522

А.А. МЯСИЩЕВ
Хмельницкий национальный университет

ПОСТРОЕНИЯ БПЛА ДЛИТЕЛЬНОГО ПОЛЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ

Рассматривается возможность построения беспилотного летательного аппарата (БПЛА) для длительного полета. Сделано сопоставление затрат энергии полета для БПЛА роторного и самолетного типов. Установлено, что по затратам энергии возможно использование солнечных модулей Sunpower C60 для удержания в воздухе БПЛА только самолетного типа в течении всего солнечного дня. Показано, что БПЛА самолетного типа при использовании питания от LiPo батарей способны продержаться в воздухе в 3 раза дольше и пролететь расстояние в 7-8 раз больше, чем роторного типа.

Ключевые слова: БПЛА, Ardupilot 2.6, квадрокоптер, гексакоптер.

A.A. MYASISCHEV
Khmelnytsky National University

BUILDING A FLYING MACHINE OF LONG FLIGHT USING SOLAR MODULES

We show possibility of building an unmanned aerial vehicle (UAV) long flight. We made a comparison of the energy cost of flight for UAV of rotary-type and aircraft. Established that only solar modules C60 can use aircraft to hold in the air during a Sunny day. It is shown that aircraft when using power from the LiPo battery, able to survive in the air 3 times longer and fly the distance 7-8 times more than the rotary type.

Keywords: UAV, Ardupilot 2.6, quadrocopter, hexacopter.

Постановка задачи

В настоящее время актуальной задачей является построение беспилотных летающих аппаратов (БПЛА) длительного полета, например для выполнения задач авиа видео и фотосъемки, обеспечения связью удаленных районов. Этот аппарат при полете должен удерживать заданную высоту и позицию, выполнять автоматически полет по заданной траектории, приземляться в заданной точке. Для этого используются полетные контроллеры, оснащенные гироскопом, акселерометром, барометром, магнитометром, GPS приемником, как например, в полетном контроллере Ardupilot 2.6 (использует внешние магнитометр и GPS приемник).

В настоящее время известны ряд экспериментальных моделей по использованию солнечных модулей, которые по мнению их создателей в состоянии находиться в воздухе в продолжении солнечного дня [1–4]. Рассмотрим один из таких примеров, который представлен на рисунке 1.

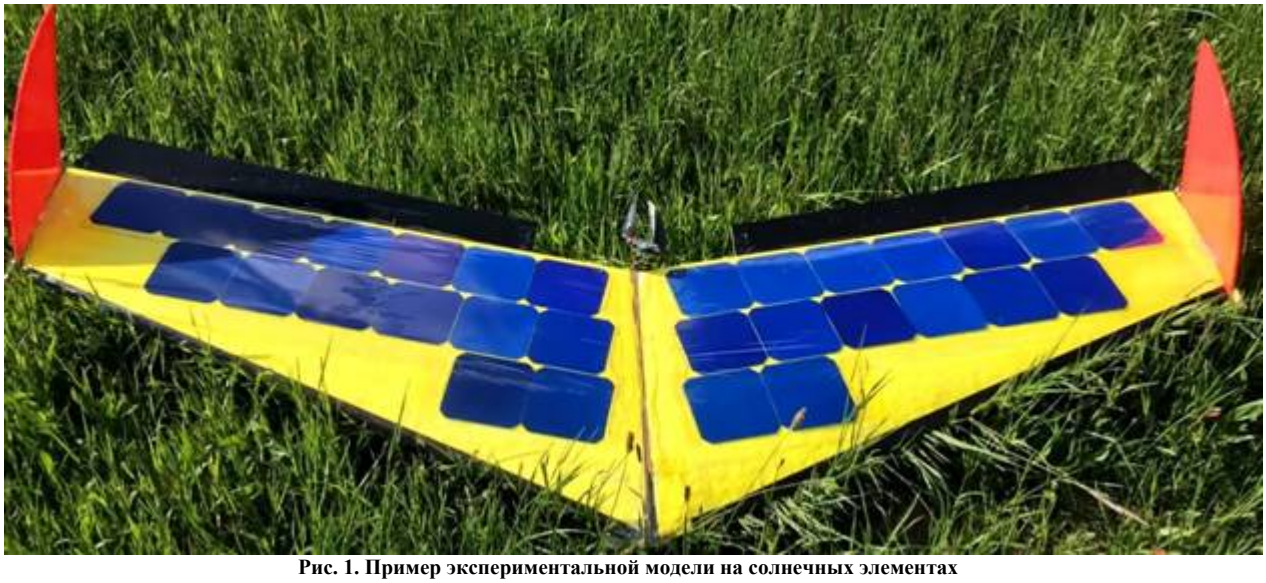


Рис. 1. Пример экспериментальной модели на солнечных элементах

Электронная система управления этой модели вместе с автопилотом Ardupilot 2.5, представлены на рис. 2.

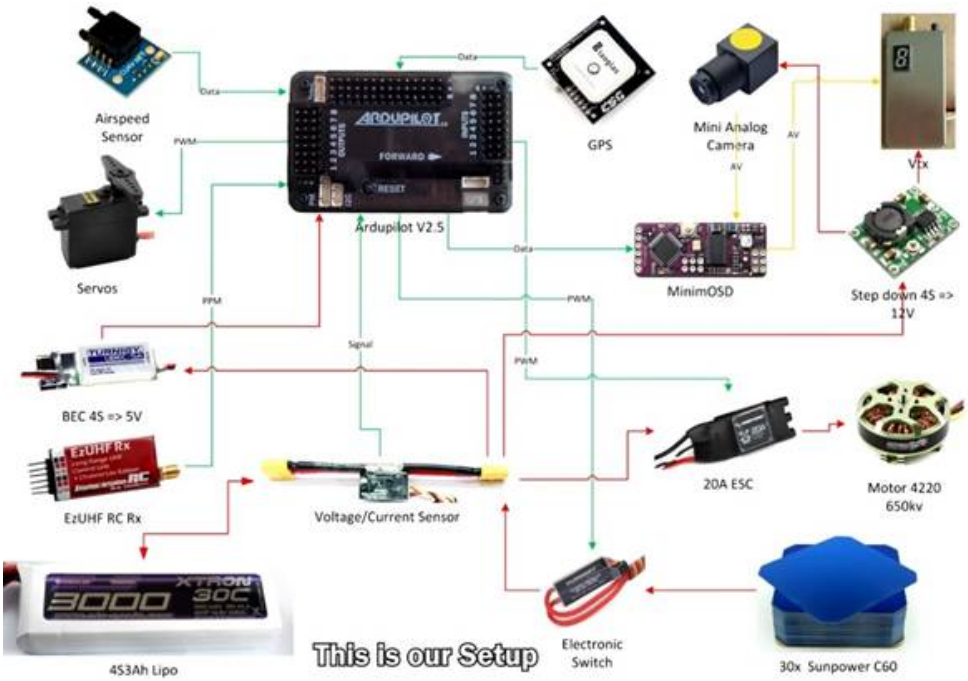


Рис. 2. Система управления моделью на солнечных элементах

Представленная модель пролетела больше 200 км [2]. Батареи LiPo при посадке были полностью заряженные. На модели установлено 30 солнечных элементов Sunpower C60 размером 125x125 mm (max ETA: 22,5%). Площадь солнечной батареи – 0,467 m². Размах крыльев – 2 м. Вес – 1660 г.

На рис. 3 представлено фото FPV (first person view) полета с совмещенной телеметрией. Видно, что после пролета 15.84 км напряжение на силовой аккумуляторной батареи соответствует полному ее заряду (16.81 В).

Рис. 3. FPV полет с совмещенной телеметрией.

Недостатком является то, что переключение на заряд батареи от солнечных элементов производилось не автоматически, а дистанционно с пульта управления, что опасно для литиевых аккумуляторов. Например, при обрыве связи можно пропустить момент допустимой зарядки по напряжению, что может привести к воспламенению батареи.

Изложение основного материала работы

Рассмотрим возможность построения таких БПЛА на основе существующих экспериментальных моделей и приближенных методов расчета. Следует также отметить, что в настоящее время стали доступны в продаже гибкие монокристаллические элементы солнечных панелей высокой эффективности Sunpower Maxeon C60, имеющие следующие характеристики: материал – Monocrystaline; напряжение XX - 0,67 В; напряжение - 0,56 В; ток КЗ - 6 А; ток - 5,7 А; мощность - 3,2 Вт; эффективность - 21%; размер - 125 x 125 мм.

Появление этих гибких, легких элементов, имеющих большую в четверть эффективность (21.8%), чем стандартные элементы позволило создавать солнечные батареи высокой мощности с малым весом. Используя известную среди моделистов программу eCalc [5] выполним ориентировочный расчет простой модели самолета (рис. 4) и сопоставим результаты с расчетом квадрокоптера. После этого сделаем выводы о возможности использования солнечных батарей для построения БПЛА на основе самолетной конструкции и мультироторной (квадрокоптер, гексакоптер и т.д.).

Для модели самолета на рисунке 4 выполнен расчет следующих параметров:

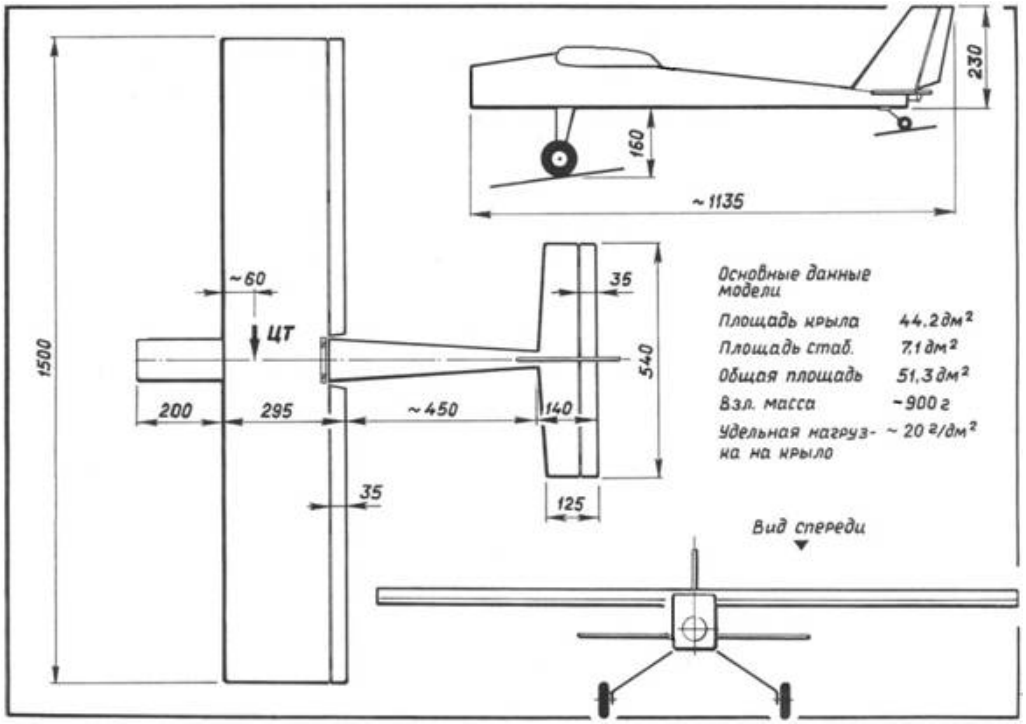


Рис. 4. Расчетная схема простой модели самолета

Максимальный режим для мотора (SunnySky A2212-980): ток: 7.00 А; напряжение: 7.17 В; обороты: 5897 об/мин; электрическая мощность: 50.2 Вт.

Рассчитанные параметры для самолета: полетный вес – 886 г; скорость сваливания (расчетная) – 20 км/ч; макс. скорость (горизонт) – 37 км/ч; макс. скороподъемность – 2.1 м/с; аккумулятор имеет общую емкостью 1800 мАч 2S1 (7,4в) и способен продержать модель для минимального полетного времени - 13.1 мин; для смешанного полетного времени - 14.3 мин; вес аккумулятора 86 г; пропеллер 10x45; тяговооруженность: 0.49 : 1.

Ниже представлен сравнительный расчет для квадрокоптера (рис. 5):

Рама F450. Мотор - SunnySky X2212-980 – 4 шт. Предельная мощность 300 вт.

Максимальный режим для мотора: ток: 4x6.33A=25.32A; напряжение: 6.87 В; обороты : 5840 об/мин; электрическая мощность: 4x43.5 Вт=174 Вт. Рассчитанные параметры для коптера: полетный вес: 892 г; скорость макс: 21 км/ч; макс. скороподъемность: 2.6 м/с; аккумулятор имеет общую емкость 1800 мАч 2S1 (7,4в) и способен продержать модель для минимального полетного времени - 3.6 мин, для смешанного полетного времени - 5.7 мин; вес аккумулятора 86 г; пропеллер 10x45 – 4 шт.

По расчетам коптер по полетному времени проигрывает самолету примерно в 3 раза, по потребляемой мощности примерно в 3.5 раза для максимальной нагрузки, а по скорости в 1.8 раза. Расчеты проведены при условии, что на самолете установлены солнечные элементы, а на коптере их нет. Если на коптер поставить солнечные элементы, то его вес возрастет еще на 250 г. Следовательно по потреблению электрической мощности он еще более проиграет БПЛА самолетного типа.

При установленных на самолете 14 элементов Sunpower C60 при хорошем солнечном дне с них можно снять около 45 Вт электрической мощности (расчетная мощность при максимальном режиме 50.2 Вт) при напряжении 7.8 В (расчетное - 7.17 В), что достаточно для полета планера с параметрами, представленными на рисунке 4.

С помощью программы eCalc выполним оценку смешанного времени полета БПЛА самолетного типа и времени висения квадрокоптера и гексакоптера в зависимости от емкости батареи. Эта оценка позволит выполнить дальнейшее сопоставление разных систем в энергетическом отношении. При анализе необходимо учитывать, что чем больше емкость батареи, тем больше ее вес, что приводит к увеличению полетного веса летательного аппарата. Например, вес самолета (рис. 1) без батареи 700 г, с батареей 3000mAh – 1031 г, а с батареей 12000mAh – 1624 г. Аналогично для коптеров. Были рассмотрены системы с следующими исходными данными.

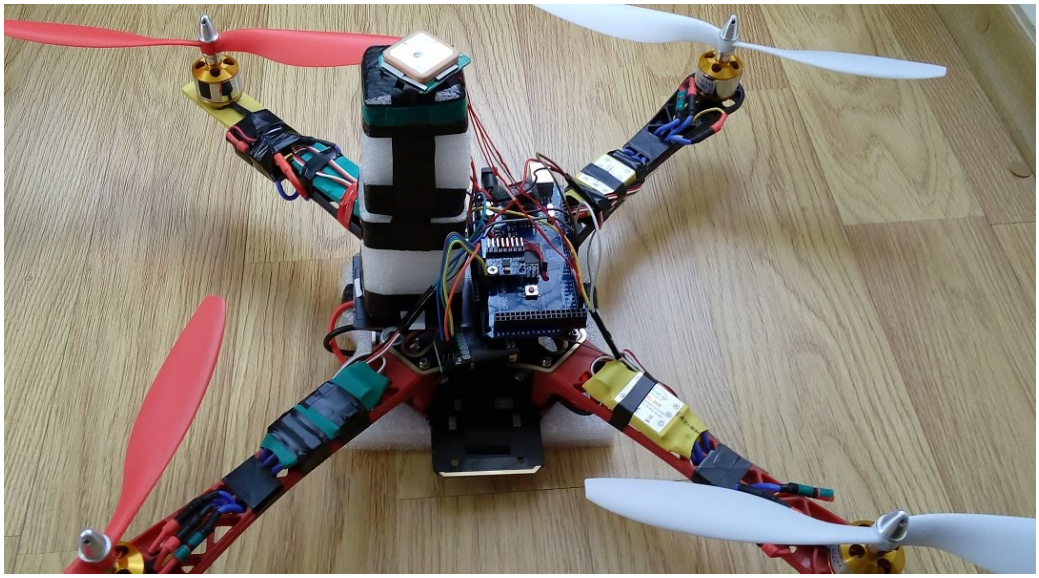


Рис. 5. Фото экспериментального квадрокоптера

1. БПЛА самолетного типа.

Вес пустого самолета (рис. 4) - 700 г. Мотор SunnySky A2212-980, регулятор мотора ESC-30, пропеллер - 8*45(DJI), площадь крыла ~50 кв. дм. Батарея LiPo 3S напряжением 11.1 В.

2. БПЛА роторного типа.

2.1. Квадрокоптер - рама F450, 4 мотора SunnySky X2212-980, регулятор моторов ESC-30, пропеллер - 10*45(DJI), батарея LiPo 3S напряжением 11.1 В. Вес коптера без батареи 800 г.

2.2. Гексакоптер - рама F550, 6 моторов SunnySky X2212-980, регулятор моторов ESC-30, пропеллер - 10*45(DJI), батарея LiPo 3S напряжением 11.1 В. Вес коптера без батареи 1150 г.

На рис. 6 представлен график результатов расчета. Первая кривая для БПЛА самолетного типа показывает, что с увеличением емкости батареи время полета увеличивается почти линейно. Кривая ограничена тяговооруженностью модели, при которой ее устойчивый полет не может быть реализован. Расчетная скорость модели самолета для всего диапазона изменения кривой 1 составляла 57 км/час. Максимальный расчетный полетный вес составил 1624 г.

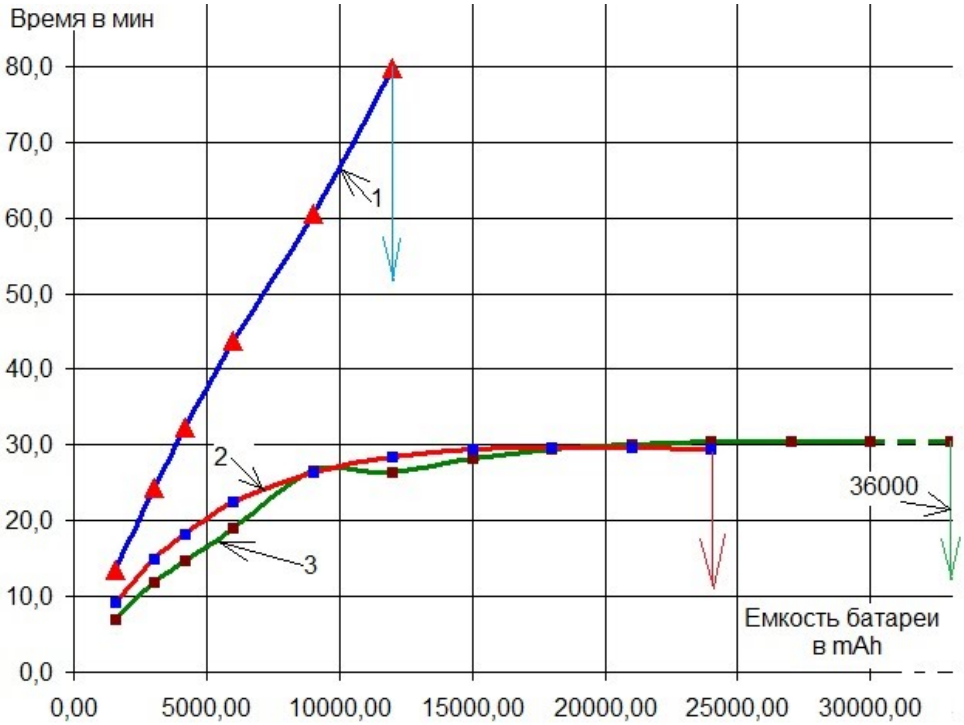


Рис. 6. График зависимости полетного времени самолета (1), квадрокоптера (2) и гексакоптера (3) от емкости силового аккумулятора

2-я кривая соответствует квадрокоптеру. Видно, что для любой емкости батареи максимальное время висения не превышает примерно 30 минут. Ограничение кривой 2 является недостаточная маневренность коптера по стику газа. Максимальный расчетный полетный вес составил 2504 г.

Максимальная расчетная скорость - 42 км/час для батареи 4200 mAh, потом она падает до 13 км/час. Для рассматриваемого коптера лучшей емкостью для батареи является ~6000 mAh при времени висения 23 мин.

3-я кривая соответствует гексакоптеру. Видно, что для любой емкости батареи максимальное время висения также не превышает примерно 31 минуты. Ограничение кривой 3 является недостаточная маневренность коптера по стику газа. Максимальный расчетный полетный вес составил 3706 г. Максимальная расчетная скорость - 42 км/час для батареи 4200 mAh, потом она падает до 15 км/час. Для рассматриваемого коптера лучшей емкостью для батареи является ~9000 mAh при времени висения 27 мин. Видно, что гексакоптер может находиться в воздухе с большей нагрузкой.

Выводы

1. В настоящее время экспериментальные исследования по созданию БПЛА длительного полета на основе солнечных элементов возможны только для самолетного типа.

2. Полеты в пасмурные дни возможны путем замены солнечной батареи весом ~250 г на литиевые аккумуляторы с равноценным весом. В случае замены возможна установка батареи емкостью около 7000 mah, что позволит БПЛА находиться в воздухе до 1 часа (первый вариант расчетов). С этой целью солнечная батарея должна быть съемной, а в корпусе БПЛА должно быть место для установки дополнительного аккумулятора.

3. Расчеты показали (второй вариант), что время висения роторных систем при увеличении емкости батареи не увеличивается почти линейно, как для самолетных систем, а медленно достигает характерного для винтомоторной группы максимума, потом начинает уменьшаться.

4. Расчетами показано, что БПЛА самолетного типа при одинаковой с роторными системами емкостью батареи способны продержаться в воздухе примерно в 3 раза дольше и пролететь расстояние примерно в 7-8 раз большее за счет более высокой скорости. Оценочные расчеты выполнялись для приведенных выше исходных данных.

Литература

1. Solar flight - RC solar. 2016. URL: https://www.youtube.com/watch?v=M4SUKnp6Yrw.

2. Record SOLAR flight [6 hours/200km] RC Plane/FPV/Drone/Aircraft. 2016. URL: https://www.youtube.com/watch?v=KHV-RjvTb1c.

3. EZ Solar Glider 2. 2016. URL: http://ezsolarglider.blogspot.fr/.

4. RC SOLAR AIRCRAFT WITHOUT ACCU THAT´S GREAT AND AMAZING DEMO FLIGHT. 2016. URL: https://www.youtube.com/watch?v=aCeMHfzxDH8&t=25s.

5. eCalc - electric drive simulation and calculation - the most reliable RC Calculator on the Web. 2017. URL: https://www.ecalc.ch/.

6. Солнечные модули SunPower. 2011. URL: http://sun-life.com.ua/index.files/sunpower.htm.

7. Ardupilot. 2016. URL: http://ardupilot.org/, 2016.

Рецензія/Peer review : 3.4.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією

УДК 624:620.19

А.А. БАБИЙ, П.Г. БАЛДУК, Н.Г. СУРЬЯНИНОВ
Одесская государственная академия строительства и архитектуры

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОГО РАСЧЕТА ПЛОСКИХ ФЕРМ

В работе рассматривается аналитическое решение задачи оптимального проектирования произвольной плоской фермы и один из способов программной реализации алгоритма расчета. Проанализированы общие проблемы проектирования инженерных конструкций. Описан один из способов аналитического решения задачи оптимального проектирования фермы, который лег в основу разработанной программы Optimum Steel Truss, реализуемой в любой версии Windows. В качестве критерия оптимизации принята минимальная масса конструкции с ограничениями по двум предельным состояниям. Описано возможное применение данного программного продукта в практике проектирования и варианты оценки стоимости конструкции.

Ключевые слова: оптимизация, автоматизированное проектирование, ферма, программная среда Optimum Steel Truss.

A.A. BABIY, P.G. BALDUK, N.G. SURYANINOV
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

PROGRAM IMPLEMENTATION OF OPTIMIZATION CALCULATION OF PLANE FARMS

The paper deals with the analytical solution of the problem of optimal design of an arbitrary flat truss and one of the ways of software implementation of the calculation algorithm. The general problems of the design of engineering structures are analyzed. One of the ways to analytically solve the problem of optimal design of a farm, which formed the basis of the developed program Optimum Steel Truss, implemented in any version of Windows, is described. As a criterion for optimization, the minimum mass of a design with constraints on two limiting states is adopted. A possible application of this software product in design practice and options for estimating construction costs is described.

Keywords: optimization, computer-aided design, farm, software environment Optimum Steel Truss

Введение. Проблема оптимизации конструктивных решений тех или иных элементов машин, зданий и сооружений имеет важнейшее практическое значение, поскольку ее основной целью является, или, во всяком случае, должна являться задача снижения себестоимости единицы продукции. Этот вопрос особенно актуален сейчас, в связи с резким подорожанием всех материалов и комплектующих.

Анализ исследований и публикаций. Несмотря на очевидную значимость проблемы, нельзя сказать, что вопросу оптимизации ферм посвящено много работ. По-видимому, это связано с общей тенденцией к компьютеризации инженерных расчетов. При этом, как правило, для оптимизационных расчетов используются современные компьютерные программы. Однако далеко не все они позволяют выполнить оптимизацию. Если же учесть, что это дорогостоящие программы, а работа в них требует специальной подготовки пользователя, то весьма привлекательной выглядит разработка авторской программной единицы, которая легка и понятна в управлении, и может быть использована на любом компьютере, оснащенном оболочкой Windows.

Анализ работ по оптимизации ферм показывает, что в качестве целевой функции обычно выбирается минимальная масса при фиксированной геометрии решетки фермы [1, 2]; оптимизация очертания фермы при заданных упругих свойствах материала [3, 4]; оптимальное распределение приложенных нагрузок [5, 6]. Можно упомянуть и работы, связанные с эволюционной оптимизацией ферм или построением генетического алгоритма [7–9].

Целью работы является построение методики оптимизации ферм по минимальной массе за счет дополнительного изменения решетки с последующей разработкой реализующей программной единицы.

Изложение основного материала исследования.

Рассмотрим ферму из S прямолинейных стержней, соединяющих n узлов, в том числе, m внутренних узлов и n-m опорных узлов. Число опорных стержней удовлетворяет соотношению

$$S_0 = 3n - s. \tag{1}$$

Внешняя нагрузка, действующая на ферму, представляется в виде системы сосредоточенных сил, приложенных к внутренним узлам, и описывается вектором

$$P = \begin{pmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_i \\ \vdots \\ P_m \end{pmatrix}, \tag{2}$$

где P_i — вектор нагрузки в произвольном узле (**i=*1*,…,m**). Элементами этого вектора являются проекции сосредоточенной силы, приложенной к произвольному узлу, на координатной оси.

Вес произвольной фермы будет являться функцией, зависящей от площадей поперечных сечений элементов A_s (при заданных длинах k-го стержня l_k):

$$Q = (A_1, ..., A_s) = \sum_{k=1}^{s} \gamma_k l_k A_k, \quad (3)$$

где γ_k — удельный вес конструкционного материала k-го стержня фермы. Выражение (3) определяет целевую функцию (далее ЦФ) для рассматриваемой фермы, переменными которой являются A_k (k = 1,…,s). Система должна удовлетворять два предельных состояния, которые и ограничивают целевую функцию (1) по внутренним усилиям и перемещениям. Считая, что материал конструкций произвольного стержня фермы одинаково сопротивляется растяжению и сжатию, а также что узлы фермы соединяются шарнирно (коэффициент продольного изгиба во всех случаях принимаем равным 1), площади поперечных сечений, исходя из условий первого предельного состояния (ППС), должны удовлетворять следующему ограничению:

$$\frac{|N_k|}{A_k} \le R_k, \quad (4)$$

где R_k – расчетное сопротивление материала.

Также, согласно второму предельному состоянию (ВПС), чрезмерные перемещения ограничиваются следующим образом:

$$\Delta \le [\Delta], \quad (5)$$

где Δ — величина наибольшего перемещения, возникающего в конструкции от внешней нагрузки; $[\Delta]$ — предельная величина перемещения, установленная нормами проектирования.

Задача отыскания минимума целевой функции (3) с учетом (4) и (5) является задачей нелинейного программирования, т.к. указанные ограничения зависят от обратных величин переменных целевой функции, которая имеет два случая. В первом случае минимум ЦФ достигается выполнением условий ППС и одновременно удовлетворяет ограничению (5). Во втором случае, при значениях A_k (4), условие (5) не выполняется и минимум ЦФ определяется методом математического программирования (например, такие «тяжелые» программные комплексы как Ansys, Nastran, SoFiSTik) или аналитически отыскивается путем ввода дополнительных переменных.

Применяя метод множителей Лагранжа, производя некоторые преобразования, в конечном итоге получим формулу для определения площадей поперечных сечений стержней фермы A_k (k=1,…,s), при которых ЦФ принимает минимальное значение:

$$A_k = \sqrt{\frac{c_k}{\gamma_k}} \frac{\sum_{j=1}^{s} l_i \sqrt{c_i}}{[\Delta]}, \quad (6)$$

где c_k, c_i — константы, характеризующие произвольный стержень.

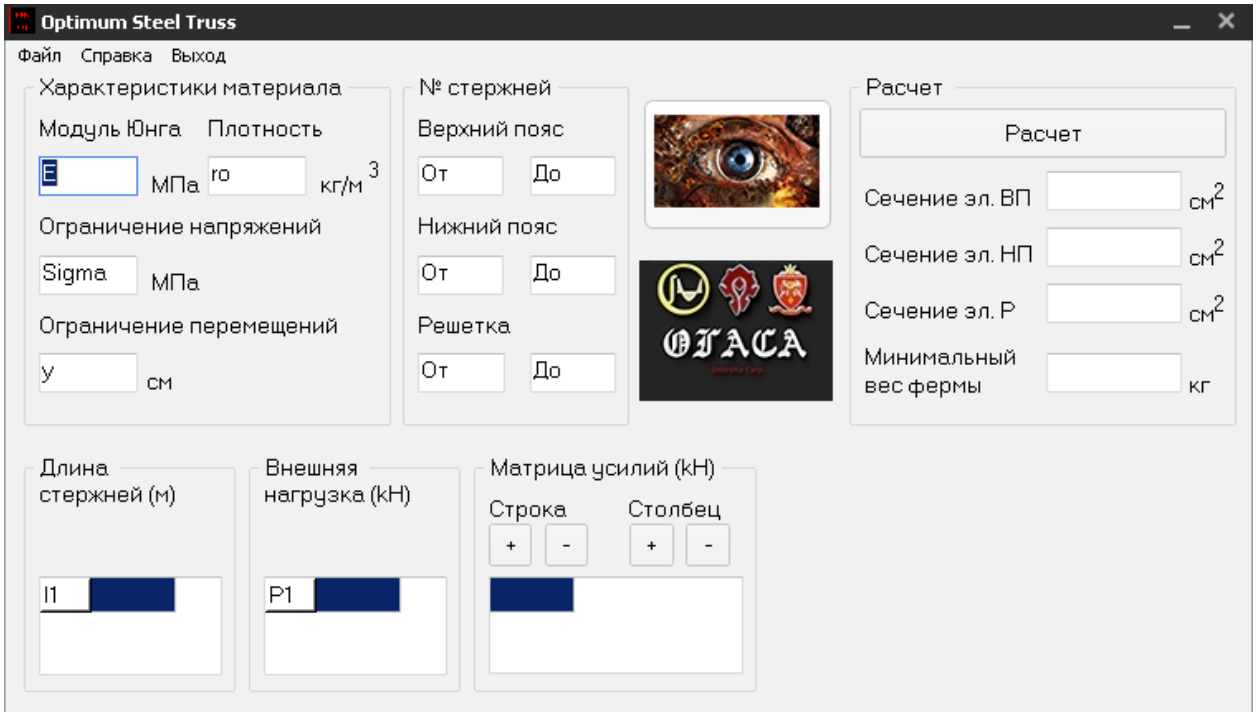


Рис. 1. Интерфейс программы OST (портативная версия)

Для реализации изложенного подхода разработана программа Optimum Steel Truss (OST) — программа оптимизации ферменных конструкций. Данный программный продукт, используя исходные данные и некоторые предварительные расчеты, позволяет рассчитать минимальный вес фермы и оптимизировать сечения стержней по прочностным характеристикам. Стержни фермы в программе делятся

на 3 типа: 1 — верхний пояс, 2 — нижний пояс, 3 — раскосы и стойки. Расчет производится, исходя из ограничений напряжений в стержнях и перемещений узлов. Программа имеет дружественный интерфейс интуитивно понятный пользователю (рис. 1).

Существуют два вида программы: установочная и портативная. Они отличаются наличием пополняемой библиотеки с уже просчитанными «популярными» фермами в установочной версии (рис. 2). Для ферм из библиотеки редактируемыми параметрами является внешняя нагрузка и характеристики материала, что позволяет максимально быстро просчитать «популярную» ферму под Ваши требования.

В программе предусмотрен файл справки, где подробно описан весь интерфейс, возможности программы и все вопросы, которые могут возникнуть в процессе работы.

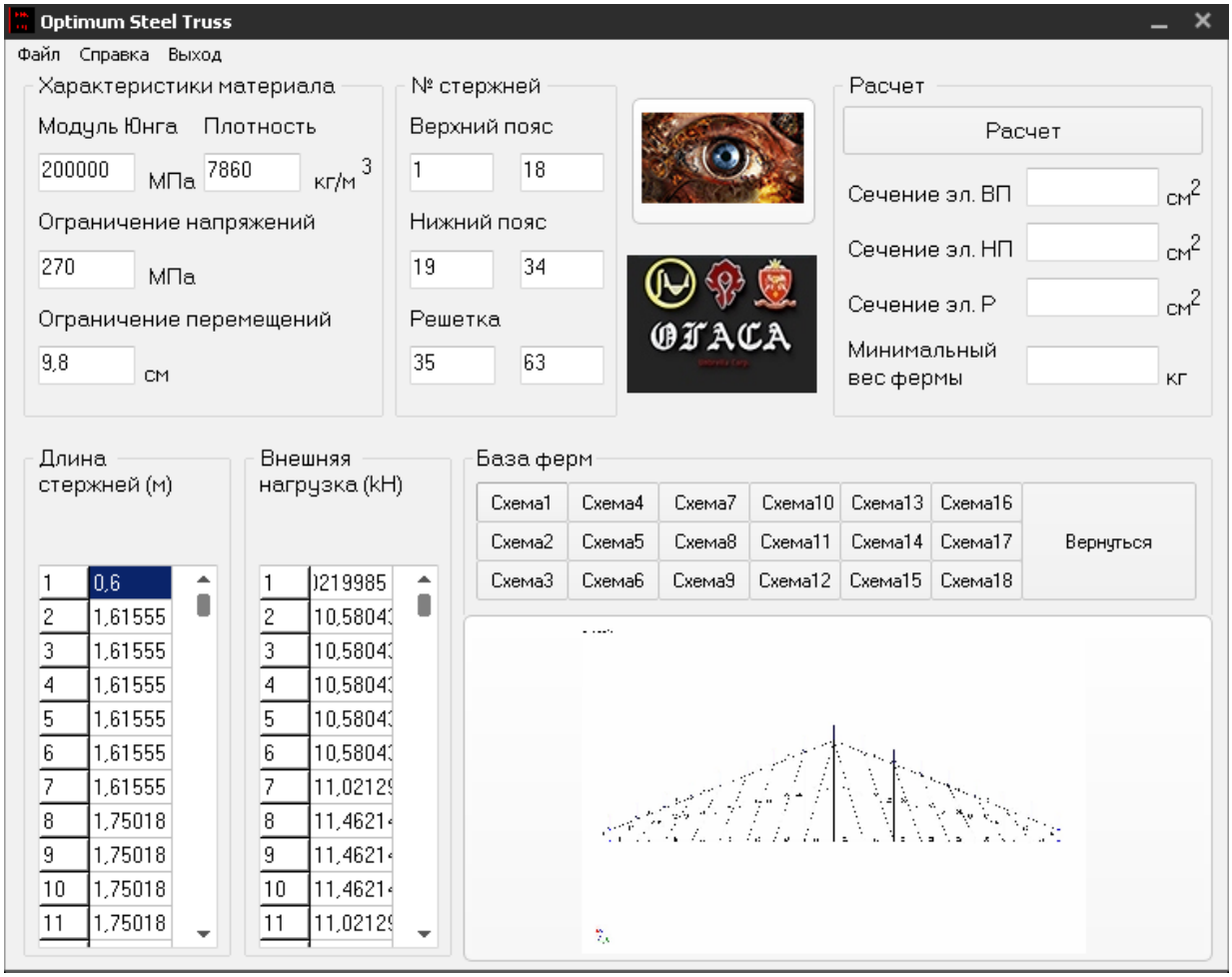
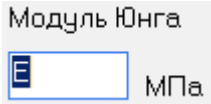


Рис. 2. Интерфейс программы OST (full version)

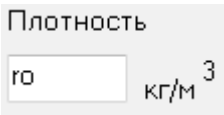
Рассмотрим поэтапно процесс работы с программой.

Ввод исходных данных

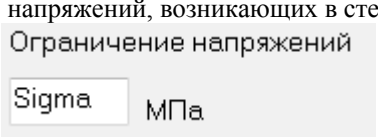
Модуль Юнга — величина, характеризующая свойства материала сопротивляться растяжению, сжатию при упругой деформации:



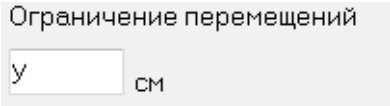
Плотность материала — скалярная физическая величина, определяемая как отношение массы тела к занимаемому этим телом объёму:



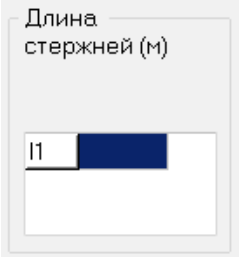
Задание ограничения по величине напряжений, возникающих в стержнях фермы:



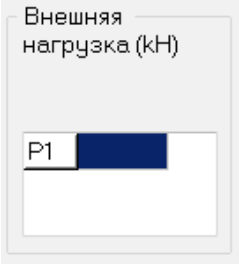
Задание ограничения по величине перемещений узлов фермы:



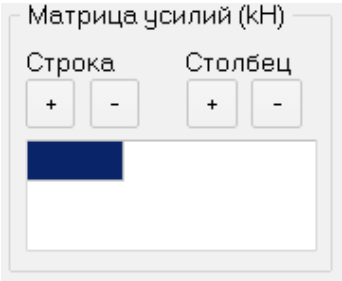
Длины стержней элементов (1, …, *n*):



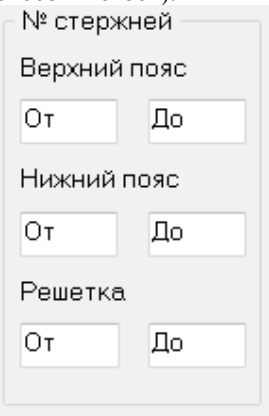
Узловая нагрузка:



Усилия в стержнях фермы от единичного вектора приложенной нагрузки в каждом из загружаемых узлов:



Числовые диапазоны, в пределах которых находятся пронумерованные стержни фермы верхнего пояса, нижнего пояса и элементов решетки (раскосов и стоек):



Для базы данных, доступной в «full version», исходными данными являются только внешняя узловая нагрузка (при наличии в базе требуемой схемы).

Расчет. Программа имеет динамический интерфейс, запрограммированный под большое количество стержней фермы. Целевой функцией оптимизации является минимальный вес фермы, который зависит от площади сечений и длины стержней. Площадь сечений принимается одинаковой, исходя из соответствующих групп: верхний пояс, нижний пояс и стержни решетки. Сечение стержней рассчитывается по двум предельным состояниям, которые и ограничивают целевую функцию по внутренним усилиям и перемещениям. Считается, что материал конструкции одинаково сопротивляется растяжению и сжатию, а узлы фермы соединяются шарнирно; коэффициент продольного изгиба во всех случаях принимается равным единице.

Инициализация расчета производится путем нажатия на соответствующую кнопку.

Пример расчета. Ввод исходных данных (рис. 3, 4).

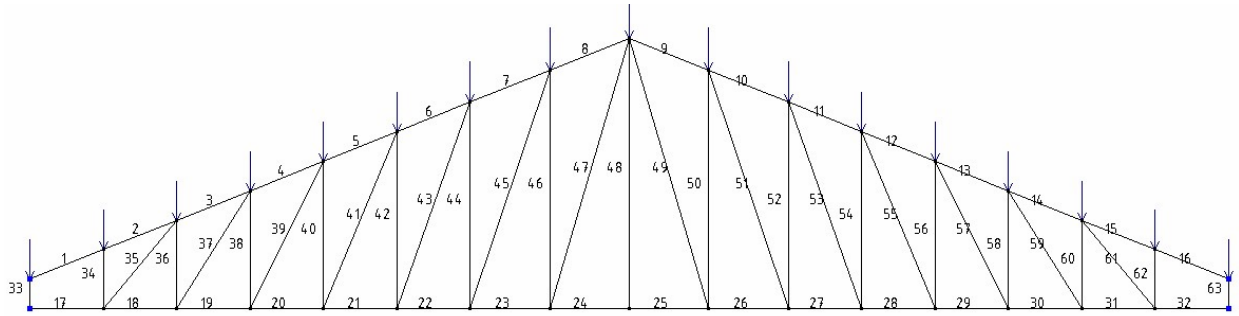


Рис. 3. Расчетная схема фермы

- пролет фермы: 24,5 м;
- модуль Юнга (сталь): 200000 МПа;
- плотность (сталь С275): 7860 кг/м^3;
- ограничение по напряжениям в стержнях (сталь С275): 270 МПа;
- ограничение по перемещениям узлов (ДСТУ Б В.1.2-3-2006 «Прогибы и перемещения»): 9,8 см;
- диапазоны стержней: верхнего пояса — 1-18; нижнего пояса — 19-34; элементов решетки — 35-63.

Предварительные расчеты (длина стержней, матрица усилий и внешняя нагрузка) производятся аналитически или в сторонней программе (по выбору пользователя).

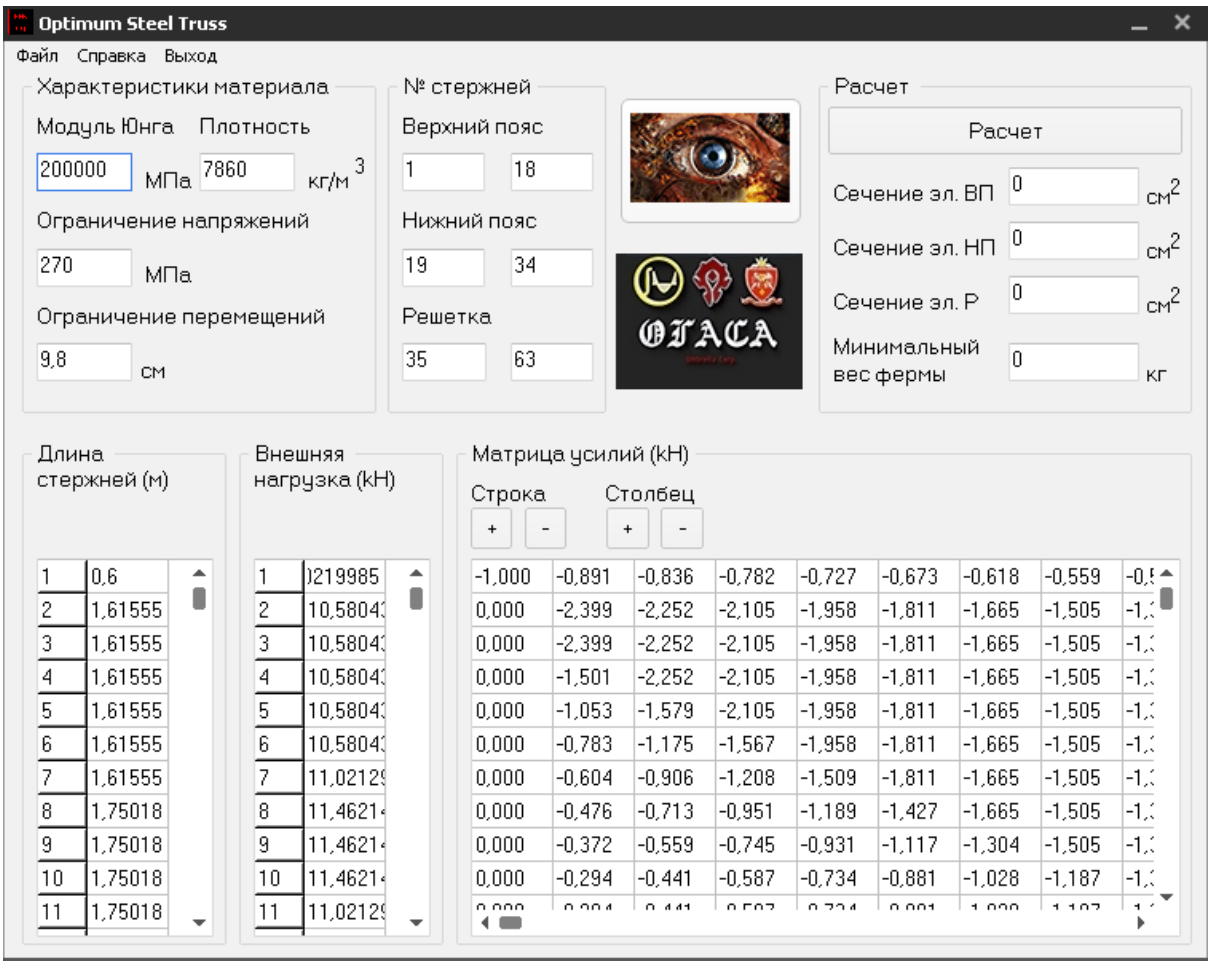
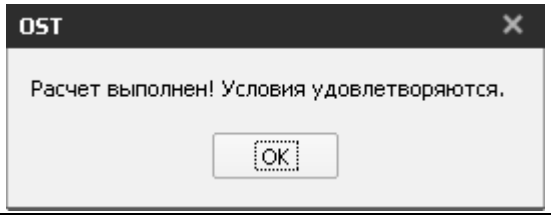


Рис. 4. Окно программы с исходными данными

После нажатия на кнопку «расчет», программа сообщит о выполнении расчёта:



В поле вывода результатов появятся результаты (рис. 5).

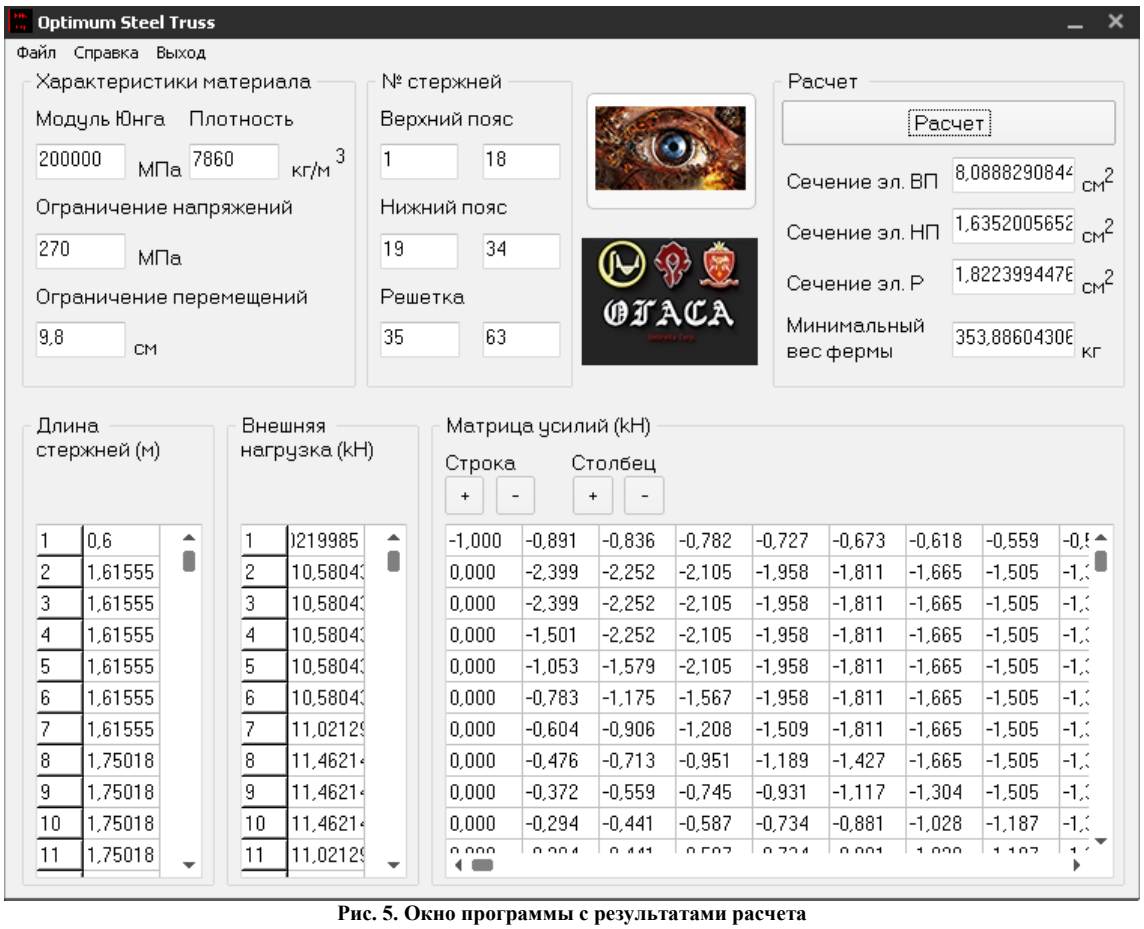


Рис. 5. Окно программы с результатами расчета

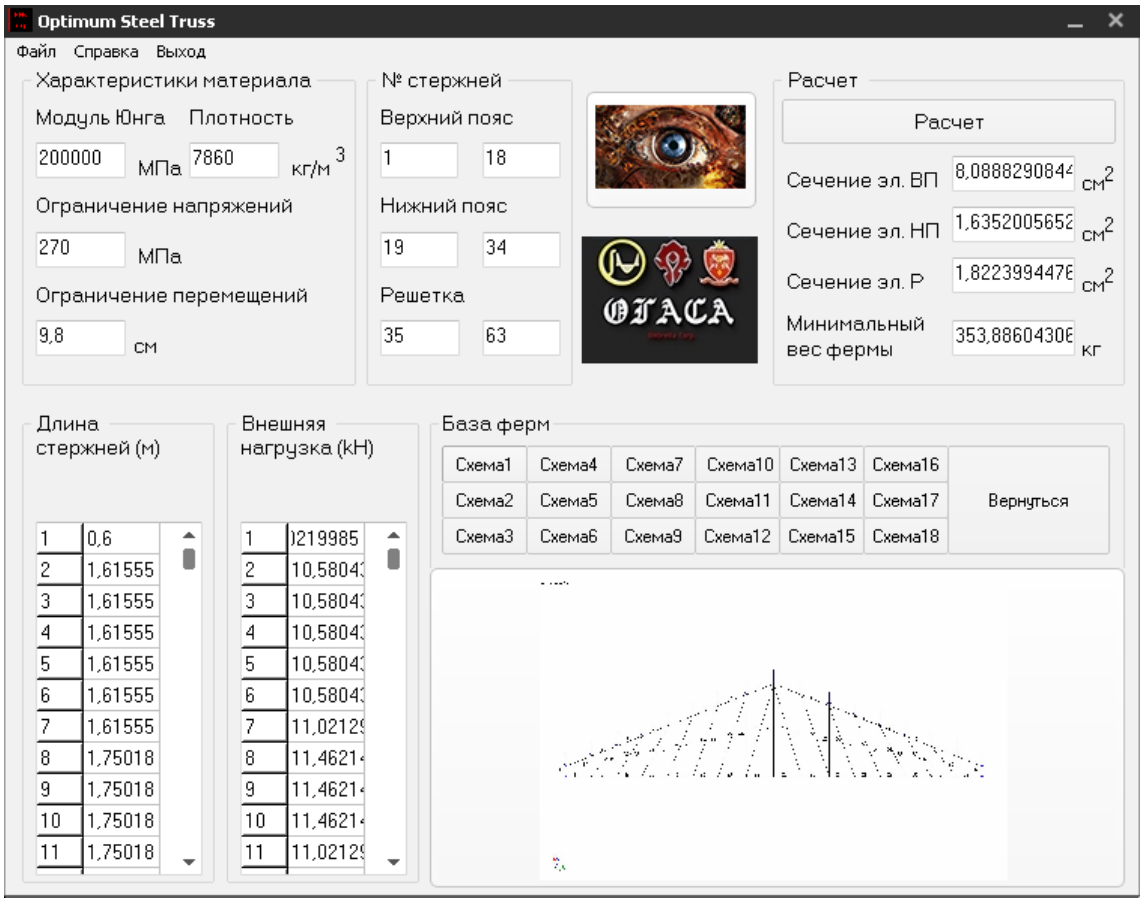


Рис. 6. Окно программы с использованием «базы данных»

Сохранение результатов расчета. Результаты расчета можно копировать путем сохранения соответствующего окна программы, а можно сохранить в отдельный текстовый файл на диске («Файл - Сохранить результат расчета»). В программе реализован «буфер данных» для хранения исходных данных последнего расчета (сохранение доступно через пункт меню «файл - сохранить исходные данные; открытие — «открыть предыдущий расчет»). Также через меню «файл» можно «очистить исходные данные» и открыть «базу данных».

Расчет фермы из «базы данных» производится путем нажатия на нужную схему в блоке «база ферм», замене «внешней нагрузки» и нажатии на клавишу «расчет»; все остальные данные заполняются автоматически (рис. 6). В базе данных доступна графическая схема фермы с обозначением загружаемых узлов и нумерацией стержней (рис. 7).

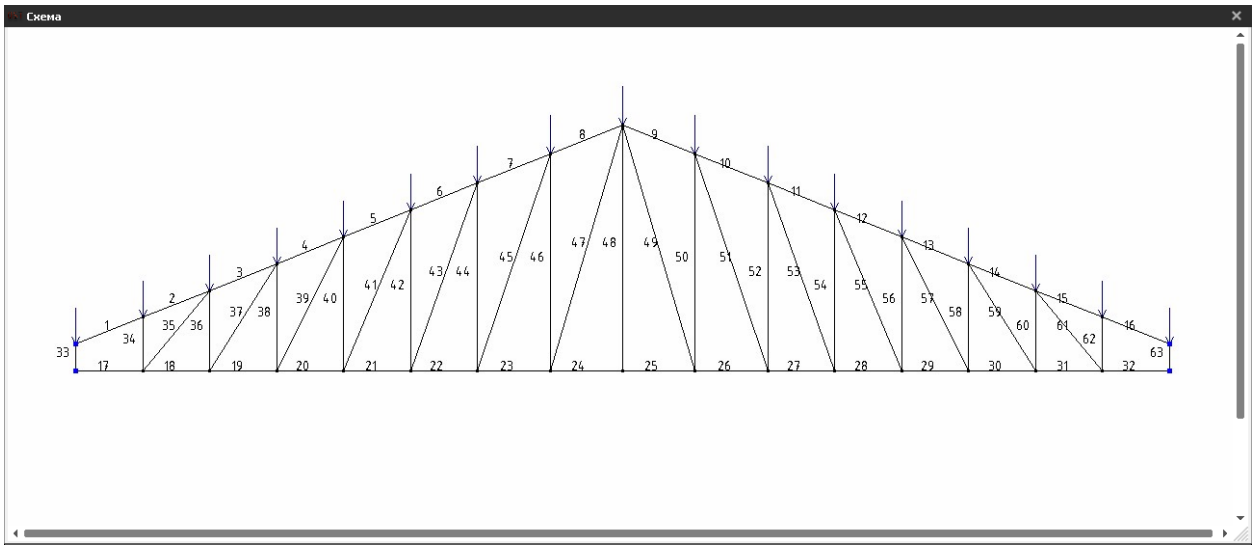


Рис. 7. Увеличенная схема фермы (появляется по нажатию на схему)

Процесс оптимизации массы фермы графически представлен на рис. 8.

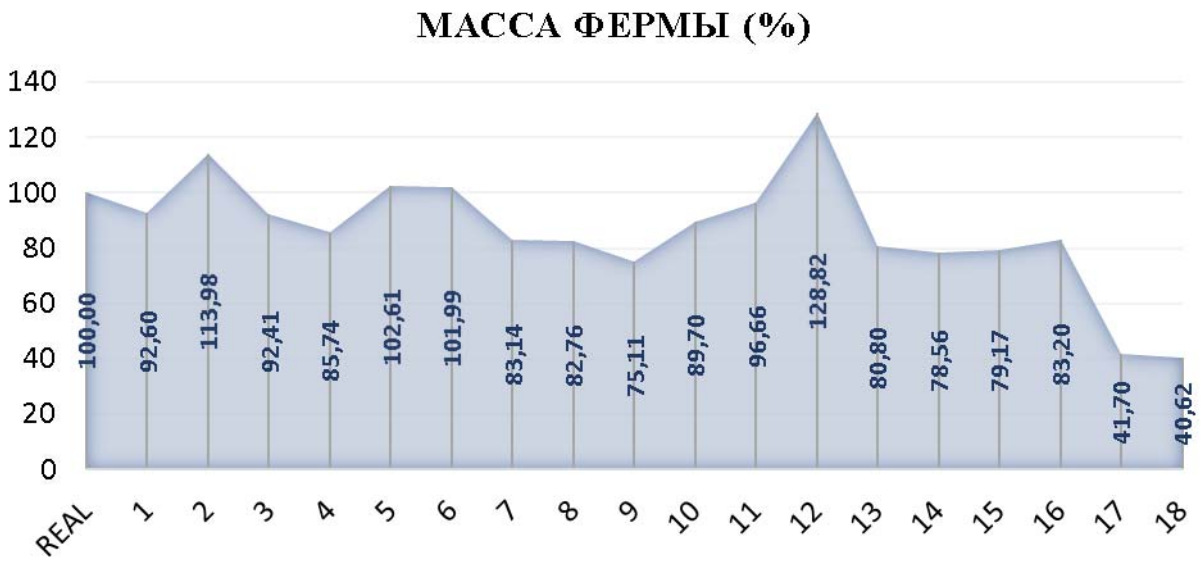


Рис. 8. Оптимизация массы фермы

Выводы. Таким образом, разработан алгоритм оптимизации фермы и программа для его реализации, которая может быть использована в любой версии оболочки Windows. Целевой функцией оптимизации является минимальный вес фермы. Площадь сечений принимается одинаковой. Сечение стержней рассчитывается по двум предельным состояниям, которые и ограничивают целевую функцию по внутренним усилиям и перемещениям.

Литература

1. Хог Э. Прикладное оптимальное проектирование. Механические системы и конструкции / Э. Хог, Я. Арора. — М. : Мир, 1983. — 479 с.

2. Проектирование статически определимой фермы минимального веса / [В.М. Кобринец, А.Н. Орлов, Н.Н. Сорока, Ю.А. Школа]. — Одесса : ОГАСА, 2006. — 148 с.

3. Лихтарников Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций / Я.М. Лихтарников. — М. : Строиздат, 1979. — 320 с.

4. Овчинников И.Г. Математическое моделирование процесса взаимодействия элементов конструкций с агрессивными средами / И.Г. Овчинников, В.В. Петров // Деформирование материалов и элементов конструкций в агрессивных средах. — Саратов : СПИ, 1983. — С. 3–11.

5. Алексеенко Б.Г. Расчет и оптимальное проектирование рамных систем, подверженных коррозионному износу / Б.Г. Алексеенко // Математические методы в задачах расчета и проектирования сложных механических систем : сб. научн. трудов. — К., 1992. — С. 4–10.

6. Почтман Ю.М. Динамическое программирование в задачах строительной механики / Ю.М. Почтман, В.А. Бараненко. — М. : Стройиздат, 1975. — 110 с.

7. Алексейцев А.В. Эволюционная оптимизация стальных ферм с учетом узловых соединений стержней / А.В. Алексейцев // Инженерно-строительный журнал. – СПб, 2013. – №5. – С. 28–37.

8. Юрьев А.Г. Эволюционные и генетические алгоритмы оптимизации строительных конструкций / А.Г. Юрьев, С.В. Клюев. — Белгород : Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2006. — 134 с.

9. Кирсанов М.Н. Генетический алгоритм оптимизации стержневых систем / М.Н. Кирсанов // Строительная механика и расчет сооружений. — М., 2010. — № 2. — С. 60–63.

Рецензія/Peer review : 19.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією

УДК 681.327.12

М.М. БИКОВ, А.Д., ГАФУРОВА, В.В. КОВТУН
Вінницький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМІТЕТУ НЕЙРОМЕРЕЖ У АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ РОЗПІЗНАВАННЯ МОВЦІВ КРИТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Стаття присвячена дослідженню процесу прийняття рішень у автоматизованій системі розпізнавання мовців критичного застосування у випадку необхідності узагальнення результатів розпізнавання від кількох класифікаторів. В результаті досліджень сформульовано та математично обґрунтовано метод і алгоритм синтезу комітету нейромережевих класифікаторів для оптимізації процесу прийняття рішень автоматизованою системою розпізнавання мовців критичного застосування, який адаптовано до специфіки застосування критичних систем і дозволяє об'єднувати у комітет класифікатори різних типів. Для створення окремих нейромереж і комітетів автори застосовували можливості крос-платформної бібліотеки чисельного аналізу ALGLIB, яка підтримує основні мови програмування. Результати тестування автоматизованої системи розпізнавання мовців критичного застосування із блоком прийняття рішень, який містив комітет нейромереж, за даними із бази еталонних записів NOISEUS емпірично доводять адекватність запропонованих теоретичних результатів.

Ключові слова: автоматизована система розпізнавання мовців критичного застосування, інформативні ознаки, комітет штучних нейронних мереж, розпізнавання мовців.

M.M. BYKOV, A.D. HAFUROVA, V.V. KOVTUN
Vinnitsia National Technical University

RESEARCH OF NEURAL NETWORK COMMITTEE IN THE AUTOMATED SPEAKER RECOGNITION SYSTEM OF CRITICAL USE

The article is devoted to the research of the decision-making process of automated speaker recognition system of critical use in a case of necessity of generalization of recognition results from several classifiers. In the result of research a method and a algorithm of neural network committee classifiers synthesis were formulated and mathematically proved to optimize decision making process for automated speaker recognition system of critical use that is customized to the specific application of critical systems and allows you to combine the classifiers committee of different types of neural networks. . To create both a separate neural networks and their committees, the authors used the possibility of cross-platform library of numerical analysis ALGLIB that supports basic programming languages. The results of testing of automated speaker recognition system of critical use with the decision making block that included the neural network committee based on data from the reference database NOISEUS empirically have proved the adequacy of the proposed theoretical results.

Keywords: automated speaker recognition system of critical use, information features, neural networks committee, speaker recognition.

Вступ

Структура автоматизованої системи розпізнавання мовця критичного застосування у першому наближенні містить блок аналого-цифрового перетворення мовного сигналу, блок попереднього його оброблення, блок виділення інформативних для розпізнавання мовця ознак і блок класифікації. Кожен із цих блоків має значну кількість параметрів, вплив яких визначає якість розпізнавання мовця автоматизованою системою, яку традиційно оцінюють імовірністю правильного розпізнавання та імовірністю виникнення

помилок першого та другого роду тестуючи новостворену систему на загальновідомих базах даних мовних сигналів. Втім, остаточне рішення при функціонуванні автоматизованої системи приймає класифікатор, вид, архітектура, параметри та методи навчання якого потребують дослідження і оптимізації.

В сучасних інформаційних системах застосовують різні комплексні методи прийняття рішень, які у інформаційних джерелах [1–7] називають сумішами експертів (mixture of experts), комітетами машин (committee machines), ансамблями класифікаторів (classifier ensembles), сумішами класифікаторів (classifier fusion) і т. ін.

З найбільш вживаних методів комплексної класифікації виділяють бегінг (bagging) [1, 2], бустінг (boosting) [3, 4, 6, 7] та стекінг (stacked generalization, stacking) [5].

Бегінг передбачає формування підмножин у навчальній вибірці довільним чином та їх використання для навчання різноманітних класифікаторів, узагальнюючи потім результати їх роботи із застосуванням обраної агрегувальної функції. Метод дозволяє підвищити якість функціонування системи розпізнавання яка включає різні типи класифікаторів та у випадку обмеженого розміру навчальної вибірки.

Бустінг являє собою жадібний алгоритм послідовного формування композиції алгоритмів класифікації, при якому кожен наступний алгоритм вибирається з метою компенсації недоліків його попередників. Цей принцип користується зараз великою популярністю з причини його універсальності та високої узагальнюючої властивості. Бустінг є найпопулярнішим способом оптимізації дерев класифікації. Втім, його ефективність супроводжується значними вимогами до якості та розміру навчальної вибірки та схильністю до перенавчання.

Стекінг – спосіб об’єднання класифікаторів із формуванням мета-алгоритму навчання, для синтезу якого навчальну вибірку розбивають на дві підмножини, елементи яких не перетинаються, далі навчають базові класифікатори на даних із першої підмножини та тестують на даних із другої підмножини і використовуючи результати тестування як вхідні дані, а реальні дані – як вихідні синтезують мета-алгоритм. Недоліком цього підходу є складність формалізації етапу синтезу мета-алгоритму та значна обчислювальна складність методу.

Узагальнюючи огляд існуючих методів побудови комплексних систем класифікації у задачі розпізнавання образів можна констатувати, що жоден з них не може бути безпосередньо використаним для оптимізації процедури класифікації у автоматизованій системі розпізнавання мовців критичного застосування, т.я. інформативні ознаки, що виділяються із мовного сигналу для подальшого розпізнавання мовця мають різне представлення – значення, множина, матриця і т.д., що вимагає використання класифікаторів різного типу, наприклад, загортальні нейромережі глибокого навчання і персептрони, які за класичними методами у комітети не об’єднуються. Також специфіка критичних систем полягає у максимізації достовірності роботи системи на протязі життєвого циклу її функціонування, що також слід урахувати при генеруванні комітету класифікаторів.

Постановка завдання

Отже, метою дослідження є формулювання методу і алгоритму синтезу комітету нейромережевих класифікаторів для оптимізації процесу прийняття рішень автоматизованою системою розпізнавання мовців критичного застосування, адаптованого до специфіки застосування критичних систем і дозволяє об’єднувати у комітет класифікатори різних типів.

Математичне обґрунтування використання комітетів нейромереж у автоматизованих систем розпізнавання мовців критичного застосування

Сформулюємо теоретичні засади формування комітету штучних нейромереж для класифікації у автоматизованій системі розпізнавання мовців критичного застосування. У найбільш загальному вигляді задачу автоматизованого розпізнавання мовців можна звести до знаходження математичної моделі $f(\cdot)$, яка найкращим чином описуватиме залежність імовірності правильного розпізнавання i-го мовця y_i від значень вектора інформативних ознак $\vec{x}_i = (x_{i1}, x_{i2}, ..., x_{in})$ із врахуванням того, що мовця буде розпізнано ($m = 1$) або не розпізнано ($m = 0$):

$$y_i(\vec{x}_i) \equiv P(y_i = m) = f(\vec{b}^T, \vec{x}), m = 1;0 . \quad (1)$$

Відношення (1) описує модель бінарного вибору, описуючи яку припустимо, що $f(\cdot)$ – інтегральна нормалізована функція розподілу Лапласа, тоді (1) можна перетворити до виду (2):

$$y_i(\vec{x}_i) \equiv P(y_i = 1) = f(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{u} e^{-\frac{z^2}{2}} dz , \quad (2)$$

Із (2) видно, що значення аргументу u функціонально визначається значеннями вектору інформативних ознак $\vec{x} = (x_1, x_2, ..., x_n)$, тобто $u = f(\vec{x})$. Ідентифікація цієї залежності є нетривіальною задачею, масштаб якої зростає із збільшенням розмірності вектора інформативних ознак $\vec{x}$ та ускладнюється очевидною нелінійністю $u = f(\vec{x})$. Отже, ефективним видається використати математичний апарат штучних нейромереж для ідентифікації функціональної залежності $u = f(\vec{x})$. Структура вхідного та вихідного шарів нейромережі очевидна – на нейрони вхідного шару подаватимуться компоненти вектора

інформативних ознак $\vec{x}$, кількість елементів якого визначатиме кількість нейронів шару, а на вихідному шарі нейромережі буде один нейрон, який повертатиме значення аргументу u із (2). В процесі навчання штучної нейромережі маніпулюючи значеннями матриці синаптичних ваг W можна в неявному вигляді ідентифікувати залежність $u = f(\vec{x})$. При формуванні навчальної вибірки значення аргументу u вибиратимемо з таблиці значень функції Лапласа:

$$u = \begin{cases} 3.9, \text{ якщо } y_i = 1, P(y_i = 1) = \Phi(u) = 1, \\ -3.9, \text{ якщо } y_i = 0, P(y_i = 0) = \Phi(u) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Використовуючи значення інформативних ознак із тестуючої вибірки $\vec{x}_{i_t} = (x_{i_t 1}, x_{i_t 2}, ..., x_{i_t n})$ на виході навченої нейромережі отримаємо ідентифіковані значення аргументу u_{i_t}, використовуючи які можна оцінити імовірність того, що мовця i розпізнано вірно:

$$P(y_{i_t} = 1) = f(u_{i_t}) \geq 0.5. \quad (4)$$

Слід враховувати, що мовний сигнал, і відповідно його індивідуальні особливості, мають комплексну динамічну природу, що призводить до присутності у навчальні вибірці екземплярів векторів $\vec{x}$, компоненти яких суттєво відрізняються від середніх показників для відповідного мовця. Видалення таких екземплярів із навчальної вибірки покращить її однорідність, що пришвидшить навчання нейромережі, проте може зменшити імовірність правильного розпізнавання мовця, що у системах критичного застосування є неприпустимим. Отже, виникає потреба у фільтрації екземплярів навчальної вибірки, яку здійснюватимемо так: вважатимемо $< \vec{x}_i, y_i >$ екземпляр навчальної вибірки аномальним, якщо хоча б один компонент вектора $\vec{x}_i$ виходить за межі інтервалу

$$x_{ij} \in [\bar{x}_j - 3\sigma_{x_j}; \bar{x}_j + 3\sigma_{x_j}], \quad (5)$$

де $\bar{x}_j$ – середнє по вибірці значення інформативної ознаки x_j; σ_{x_j} – середньоквадратичне по вибірці відхилення інформативної ознаки x_j відносно значення $\bar{x}_j$. Екземпляри навчальної вибірки, які не увійшли до інтервалу (5) переносяться із навчальної у тестуючу вибірку.

Узагальнюючи сказане, сформулюємо алгоритм синтезу класифікатора із застосуванням штучних нейромереж для автоматизованої с системи розпізнавання мовців критичного застосування:

1. Формуємо альтернативні факторні простори, які відрізняються включеними інформативними для розпізнавання мовця ознаками: $I_k = < \vec{X}_j, Y >$, $j = \overline{1, N_{I_k}}$, $k = \overline{1, L}$, де N_{I_k} – кількість інформативних ознак X_j у факторному просторі I_k, L – кількість альтернативних факторних просторів.

2. Будуємо штучні нейромережі, які навчаємо на даних, сформованих для визначених у п.1 факторних просторів. Проводимо тестування створених класифікаторів на тестових даних, використовуючи для оцінювання імовірності правильного розпізнавання правило (4) із фіксацією випадків правильного розпізнавання та виникнення помилок першого та другого роду. Ці дані узагальнюємо у вигляді критерію відбору найінформативнішого факторного простору в вигляді

$$K_{I_k} = N^+_{I_k} r_1 - N^1_{I_k} r_2 - N^2_{I_k} r_3, \quad (6)$$

де $N^+_{I_k}$ – кількість правильно розпізнаних мовців для факторного простору I_k, $N^1_{I_k}$ та $N^2_{I_k}$ – кількість помилок першого та другого роду відповідно для факторного простору I_k, r_1, r_2, r_3 – вагові коефіцієнти відповідних якісних показників роботи автоматизованої системи критичного застосування, значення яких вибиратимемо за правилом Фішберна [8]:

$$r_i = \frac{2(n - i + 1)}{(n+1)n}, \quad (7)$$

де n – кількість інформативних ознак факторного простору I_k.

3. Створюємо комітет нейромережевих класифікаторів із нейромереж одного типу, які можуть мати різну архітектуру шарів та їх кількість, а також різні функції активації нейронів. При навчанні нейромережевого комітета використовуємо значення критерію (6). Для підвищення ефективності нейромережевого комітета після його створення та навчання відбувається фільтрація, за результатами якої із комітету виключаються неефективні нейромережі. Фільтрацію пропонується проводити за правилом

$$K_{I_k} \geq \Delta, \quad (8)$$

де Δ – поріг фільтрації, значення якого встановлюється на основі критерію (6).

Проведемо емпіричне дослідження ефективності запропонованого алгоритму синтезу оптимального нейромережевого комітету для автоматизованої системи розпізнавання мовців критичного застосування, взявши в якості бази еталонних записів безкоштовну базу даних NOIZEUS [9]. Ця спеціалізована база записів мовних сигналів сформована Школою інжинірингу та комп'ютерних наук Еріка Джонсона при

Університеті Техасу в Далласі (США) для дослідження алгоритмів покращення звуку і складається із 30 речень англійської розмовної мови, вимовлених трьома чоловіками та трьома жінками (по 5 на кожного мовця, частота дискретизації записів складає 25 кГц, але задля додавання шуму була зменшена до 8 кГц) та записів типових побутових та техногенних шумів, які можна додавати до чистого сигналу, щоб отримати записи мовних сигналів із рівнями шум/сигнал 0 дБ, 5 дБ, 10 дБ, 15 дБ відповідно. Для навчання нейромережевих класифікаторів використовувалися 10% бази еталонних записів рівномірно розподілених за класами мовців та за співвідношенням шум/сигнал. Решта 90% еталонних мовних записів розділялися навпіл між контрольною та тестуючою вибірками.

При виборі множини інформативних для розпізнавання мовця ознак автори врахували специфіку процесу мовотворення (частота/період основного тону на вокалізованих фрагментах мовного сигналу, коефіцієнти лінійного прогнозу, спектр Фур'є), особливості сприйняття мови людиною (кепстральні коефіцієнти) та динамічними характеристиками мови. Кожна із цих ознак має як переваги так і недоліки при її використанні для розпізнавання мовця, залежно від способу проведення процедури запису мовних сигналів, емоційного стану мовця, параметрів навколишнього середовища, наявними обчислювальними ресурсами і т. ін., але в комплексі вони утворюють цілісне представлення особи мовця у факторному просторі.

Отже, для формування альтернативних факторних просторів із мовного сигналу виділяємо множину барк-кепстральних коефіцієнтів, які отримуємо аналогічно відомій методиці розрахунку кепстральних коефіцієнтів мовного сигналу [10, 11], виконуючи відображення дискретного спектру Фур'є за школою Барк-частот, перші 13 коефіцієнтів якої охоплюють спектральну область до 8 кГц, якої достатньо для розпізнавання мовця. Для врахування динамічних характеристик мовного сигналу екстрагуємо похідні від розрахованих барк-кепстральних коефіцієнтів, аналізуючи сусідні фрейми мовного сигналу збільшуючи кількість елементів вектору інформативних ознак до 39. Також до вектору інформативних ознак включено значення періоду основного тону для базового та сусідніх фреймів мовного сигналу, які визначили за авторським методом [12], що використовує автокореляційну функцію із постфільтрацією значень та аналіз концентрації фактів перетину амплітудним значенням мовного сигналу нульового рівня, та піки 2-4 формант, які отримуватимемо аналізуючи згладжений спектр мовного сигналу з розрахунком 10 коефіцієнтів лінійного прогнозу для кожного із фреймів. Загалом кількість елементів факторного простору дорівнює 72, які відповідно до п.1 алгоритму авторами було рівномірно розподілено по чотирьом альтернативним факторним просторам (АФП) АФП1 - АФП4 відповідно.

Для виконання п.2 та 3 алгоритму, які вимагали створення як окремих нейромереж так і їх комітетів, автори застосовували можливості крос-платформної бібліотеки чисельного аналізу ALGLIB [13], яка підтримує основні мови програмування (C++, C#, Pascal, VBA) і кілька операційних систем (Windows, Linux, Solaris). Програмний пакет ALGLIB дозволяє створювати нейронні мережі прямого поширення без прихованих шарів, з одним або двома прихованими шарами, які можуть мати одну зі стандартних стискаючих функцій активації. Вихідний шар може бути, зокрема, лінійним із SOFTMAX-нормалізацією виходів, який зручно застосовувати для задач класифікації, коли виходи мережі повинні бути невід'ємні і їх сума має дорівнювати одиниці, що дозволяє безпосередньо використовувати дані з вихідного шару для оцінювання результатів розпізнавання в імовірнісному виді.

У випадку реалізації комітетів нейромереж у ALGLIB є два обмеження – кількість мереж у комітеті визначається на етапі формування і не може змінюватися динамічно і комітет має бути однорідним, тобто нейромережі, що входять до його складу, мають бути архітектурно аналогічні.

Для навчання нейромереж у ALGLIB можна використати дві підпрограми – MLPEBaggingLM і MLPEBaggingLBFGS. Перша навчає індивідуальні нейромережі із допомогою алгоритму із сімейства Лівенберга-Марквардта, друга – із допомогою L-BFGS алгоритму, суттєвою перевагою останнього у випадку навчання комітетів нейромереж є те, що в результаті його роботи окрім безпосередньо навченого комітету також відбувається і внутрішнє оцінювання похибки узагальнення.

Відповідно до п.2 для обчислення критерію (6) було синтезовано базову нейромережу (трьохшаровий персептрон), яка почергово форматувалася під класифікацію у кожному із чотирьох сформульованих вище факторних просторах.

Перед навчанням базової нейромережі навчальну вибірку досліджували на виявлення аномальних екземплярів інформативних ознак за правилом (5), які примусово включалися у тестуючи вибірку. Результати роботи базової нейромережі представлено у таблиці 1.

Аналіз даних з таблиці 1, в якій узагальнено результати оцінювання роботи базових нейромереж із чотирма факторними просторами із застосуванням критерію (6), дозволяє зробити висновок про більшу інформативність другого факторного простору у порівнянні з іншими, а також недоцільність включення аномальних екземплярів значень інформативних ознак у навчальну вибірку.

Таблиця 1

Аналіз результатів тестування штучних нейромереж, сформованих для виконання п.2 алгоритму

Альтернативний факторний простір	Кількість випадків правильного розпізнавання мовців	Частка правильно розпізнаних мовців, %	Всього помилок	Помилки 1-го роду	Помилки 2-го роду	K
Без аналізу даних навчальної вибірки згідно (5)						
АФП1	171	89,06	21	15	6	79,53
АФП2	184	95,83	24	5	3	89,84
АФП3	178	92,71	14	9	5	85,18
АФП4	161	83,85	31	17	14	72,51
Після аналізу даних навчальної вибірки згідно з (5)						
АФП1	174	90,63	18	14	4	81,70
АФП2	185	96,35	24	4	3	90,67
АФП3	180	93,75	14	9	5	86,84
АФП4	164	85,42	1	18	10	74,36

На основі сформованої системи інформативних ознак створено комітет з десяти нейромереж (персептронів), дослідження ефективності яких для розпізнавання мовців із мовної бази NOIZEUS наведено у таблиці 2.

Оптимізація комітету нейромереж проводилася за правилом (8) із застосуванням порогу фільтрації $\Delta = 0.98$, після чого у комітеті залишилося три нейромережі (ШНМ2, ШНМ7, ШНМ9 відповідно).

Для кожного із восьми мовців із мовної бази NOIZEUS розраховано емпіричне середнє значення атрибуту $\bar{u}$, описаного у (3), за формулою

$$\bar{u} = \frac{1}{N_{NM}} \sum_{i=1}^{N_{NM}} u_i \,, \tag{9}$$

де N_{NM} – кількість нейромереж, які пройшли процедуру фільтрації. Як видно із даних таблиці 2, узагальнений із допомогою (8) результат роботи комітету нейромереж показує імовірність правильного розпізнавання 98,27%.

Таблиця 2

Результати тестування комітету нейромереж

Штучні нейромережі	Кількість випадків правильного розпізнавання мовців	Частка правильно розпізнаних мовців, %	Всього помилок	Помилки 1-го роду	Помилки 2-го роду
ШНМ1	168	88,64	24	15	9
ШНМ2	186	98,02	6	2	4
ШНМ3	181	95,07	11	7	4
ШНМ4	186	97,64	6	3	3
ШНМ5	183	96,32	9	5	4
ШНМ6	186	98,09	6	4	2
ШНМ7	187	98,30	5	2	3
ШНМ8	176	92,70	16	9	7
ШНМ9	187	98,48	5	3	2
ШНМ10	185	97,50	7	5	2
Після фільтрації згідно з п.3	187	98,27	5	2	3

Висновки

Отже, сформульовану вище мету дослідження авторами виконано, а отримані результати можна узагальнити так:

- Авторами створено та математично обґрунтовано алгоритм синтезу комітету нейромереж для поняття рішень в автоматизованій системі розпізнавання мовця критичного застосування. Проведені емпіричні дослідження довели адекватність отриманих теоретичних результатів.
- Проведені експериментальні дослідження із розпізнавання мовців доводять, що комітет нейромереж, сформований за авторським алгоритмом, показує меншу помилку узагальнення, ніж самостійна нейромережа оптимальної архітектури у виконанні задачі розпізнавання мовців для автоматизованої системи критичного застосування.
- Комітет нейромереж, навчений за допомогою L-BFGS алгоритму, показує меншу схильний до перенавчання, ніж традиційна нейронна мережа.
- Звичайні нейромережі потребують втручання дослідника для оптимізації архітектури (перебору параметрів нейромереж із одним/двома прихованими шарами і різним ступенем регуляризації), тоді як комітет нейромереж виконує оптимізацію автоматично – достатньо створити необхідну кількість нейромереж із одним прихованим шаром і надмірною кількістю нейронів в ньому (30–100).
- Процес навчання комітету нейромереж в кілька разів більш трудомісткій, ніж навчання звичайної нейромережі. Наприклад, комітет з десяти нейромереж навчається в 2-3 рази повільніше, ніж одна однотипна нейромереж.
- Потребує дослідження питання репрезентативності навчальної вибірки для комітету нейромереж – інколи результати розпізнавання мовців комітетом були гірші порівняно із результатами звичайних нейромереж з причини недонавченості комітету.

Література

1. Izenman A.J. Modern Multivariate Statistical Techniques // Springer Texts in Statistics. Springer Science&Business Media New York, 2013. – 632 p.
2. Breiman L. Bagging predictors // Machine Learning, 1996. – 24. – P. 123–140.
3. Freund Y. A Short Introduction to Boosting / Freund Y., Schapire R. E. // Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence, 1999. – 14 (5). – P. 771–780.
4. Breiman L. Random Forests // Machine Learning, 2001. – 45. – P. 5–32.
5. Wolpert D.H. Stacked Generalization // Neural Networks, 1992. – 5. – P. 241–259.
6. Valiant L.G. A theory of the learnable // Communications of the ACM, 1984. – 27(11). – P. 1134–1142.
7. Schapire R. The strength of weak learnability // Machine Learning, 1990. – 5(2). – P. 197–227.
8. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений / Фишберн П. – М. : Наука, 1978. – 352 с.
9. NOIZEUS: A noisy speech corpus for evaluation of speech enhancement algorithms. URL: http://ecs.utdallas.edu/loizou/speech/noizeus/.
10. Martinez J. Speaker recognition using Mel frequency Cepstral Coefficients (MFCC) and Vector quantization (VQ) techniques / J. Martinez, H. Perez, E. Escamilla, M.M. Suzuki // Electrical Communications and Computers (CONIELECOMP) 22nd International Conference on 27-29 Feb. 2012. – IEEE, 2012. – P. 248–251.
11. Khalil A.A. Efficient speaker identification from speech transmitted over bluetooth based system / Khalil A.A., Mostafa Saad E.S., El-Nabi M.A., Abd El-Samie F.E. // Computer Engineering & Systems (ICCES), 2013 8th International Conference on 26–28 Nov. 2013. – IEEE, 2013. – P. 190–193.
12. Биков М.М. Метод виділення основного тону на основі модифікованої математичної моделі слухової системи людини / М.М. Биков, В.В. Ковтун, А. Раїмі // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 5. – С. 130–135.
13. ALGLIB: a cross-platform numerical analysis and data mining library. URL: http://www.alglib.net/.

Рецензія/Peer review : 5.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Бісікало О.В.

УДК 621.396.96

Ю.М. БОЙКО, О.І. ЄРЬОМЕНКО
Хмельницький національний університет

ЕФЕКТИВНІСТЬ СИГНАЛЬНО-КОДОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ З ЧАСТОТНОЮ МАНІПУЛЯЦІЄЮ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОМУ КАНАЛІ ЗВ'ЯЗКУ

Розглянуто основні показники сигналів із частотною маніпуляцією для формування сигнально-кодових конструкцій в телекомунікаційних системах. Розглянуто схемотехнічні особливості пристроїв формування та оброблення сигналів з частотною маніпуляцією. Представлено варіанти конфігурації схем попереднього кодування під час формування частотно-маніпульованих сигналів. Описано процес синтез квадратурного модулятора використовуючи декомпозицію лінійної комбінації послідовності імпульсів. Синтезовано структуру пристрою приймання та оброблення частотно-маніпульованих сигналів з встановленням мінімального граничного рівня гіпотез при мінімізації спотворень бітових посилок. Розглянуто особливості застосування недвійкового коду Ріда-Соломона та частотно-маніпульованих сигналів у одній сигнально-кодовій конструкції. Встановлено структуру кодового слова для завадостійкого кодування з виправленням помилок в каналі з частотою маніпуляцією. Синтезовано імітаційну схему телекомунікаційного каналу передачі інформації з сигнально-кодовою конструкцією на основі коду Ріда-Соломона і частотної маніпуляції. Досліджено показники впливу на загальну продуктивність сигнально-кодової конструкції з частотною маніпуляцією у телекомунікаційному каналі.

Ключові слова: частотна маніпуляція, смуга пропускання, сигнально-кодова конструкція, телекомунікаційна система.

J.M. BOIKO, O.I. EROMENKO
Khmelnytskyi National University

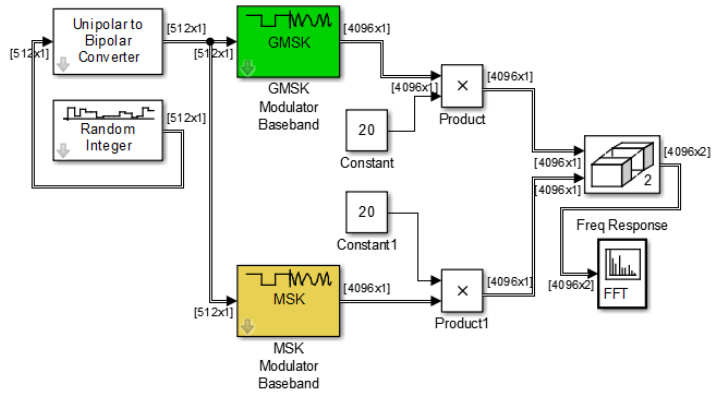
EFFECTIVENESS OF THE SIGNAL CODING CONSTRUCTION WITH FREQUENCY SHIFT KEYING IN TELECOMMUNICATION CHANNELS

In this paper represents the basic indicators signal with frequency manipulation to form signal-code constructions in telecommunication systems. Schematic device features considered forming and processing of signals with frequency shift keying. Submitted configuration options coding schemes in the formation manipulated variable frequency signals. The process of synthesis quadrature modulator using a combination of linear decomposition sequence of pulses. Synthesized structure device receiving and processing frequency signals manipulated with the establishment of a minimum threshold level hypotheses while minimizing distortion bit parcels. Features of the application of Reed-Solomon code and frequency-manipulated signals in one signal-coding construction. Established structure codeword if noise-immune coding error correction code signal for designs with frequency manipulation. Synthesized simulation scheme telecommunication transmission channel information with signal-code construction based on Reed-Solomon code and frequency manipulation. Studied performance impact on the overall performance of signal-code structures with frequency shift keying in telecommunication channel.

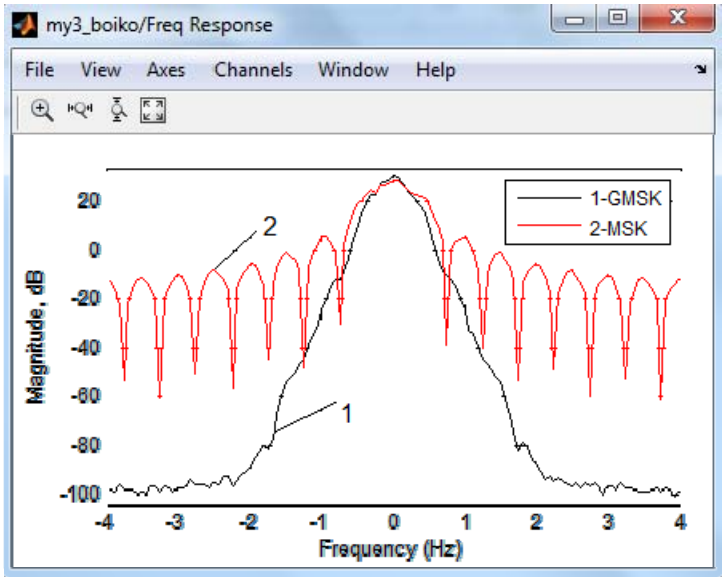
Keywords: frequency shift keying, bandwidth, signal-code construction, telecommunication system.

Вступ. Сигнали цифрової частотної маніпуляції знайшли широке використання в сучасних засобах телекомунікацій зокрема стандартів стільникового зв'язку GSM, TETRAPOL, радіомодемах, системах аудіоконролю та деяких супутникових каналах передачі інформації. Таке поширення частотної маніпуляції пов'язане з деякими важливими перевагами таких сигналів, зокрема сигналів гаусівської частотної маніпуляції (GMSK). Серед таких переваг можна виділити наступні: компактний спектр і можливість когерентного приймання [1]. Слід акцентувати увагу на наступних обставинах, сигнали частотної маніпуляції (MSK) доцільно використовувати в телекомунікаційних системах з обмеженою енергетикою, у випадках відсутності жорстких вимог на спектральну ефективність.

Окреслимо важливі особливості частої маніпуляції, врахування яких буде доречним при побудові сигнально-кодових конструкцій з її використанням. На відміну від MSK сигнали гаусівської частотної маніпуляції обмежені за спектром в основній смузі частот, що додатково зменшує рівні бічних пелюсток спектру і спектральну смугу пропускання. Добуток ширини смуги пропускання гаусівського фільтру на період кодованого символу на виході модулятора $B \cdot T_0$ будемо використовувати для порівняння між модуляціями GMSK з різною ефективною смугою пропускання. На рис. 1 представлено спектри сигналів MSK і GMSK ($B \cdot T_0 = 0{,}25$) отримані за допомогою експрес-імітаційної моделі. У випадку відсутності кодування, добуток $B \cdot T_0$ визначається шириною смуги пропускання фільтру протягом періоду. Загалом, зменшення величини добутку $B \cdot T_0$ призводить до зменшення заповнення спектральної смуги пропускання, однак слід врахувати, що в цьому випадку відбувається збільшення рівня міжсимвольних завад. Компенсацію даних завад можна провести використанням еквалайзерів або решітчастою демодуляцією [1–3]. Особливість GMSK полягає в тому, що вона має сталу обвідну, яка загалом зменшує спектральне зростання і спотворення сигналу внаслідок нелінійності підсилювального обладнання.



а



б

Рис. 1. Імітаційна схема – а, та спектральні картини сигналів з частотною маніпуляцією типу MSK і GMSK – б

Якщо ввести показник ефективності енергетичного спектру маніпульованого сигналу який покаже нормоване значення смуги $f \cdot T$ в межах якої міститься 99% потужності сигналу то отримаємо наступну картину – потужність модульованого за частотою цифрового сигналу сконцентрована в вузький смузі частот відносно носійної частоти, в межах $\pm 0{,}65 f \cdot T_0$ для $h = 2\pi \Delta f_д T_0 = 0{,}7$ (де $\Delta f_д$ - девіація частоти) та в межах $\pm f \cdot T_0$ для $h = 1$.

У випадку GMSK імпульсна характеристика $h(t)$ передмодуляційного фільтру задається формулою [1]:

$$h(t) = B\sqrt{\frac{2\pi}{\ln 2}} e^{\left(-\frac{2\pi^2 B^2}{\ln 2} t^2\right)}, \quad (1)$$

B - смуга пропускання фільтру за рівнем мінус 3 дБ.

Передавальна функція фільтру визначається з формули:

$$G(f) = e^{\left[-\left(\frac{f}{B}\right)^{\frac{\ln 2}{2}}\right]}, \quad (2)$$

Ймовірність бітової помилки для GMSK і MSK визначається з формули:

$$p_{BER} = \frac{1}{2}\Phi\left(\sqrt{\frac{d_{\min}^2 E_b}{2N_0}}\right), \quad (3)$$

де $d_{\min}$ - нормована мінімальна евклідова відстань між сигналом який відповідає "0" і сигналом який відповідає логічній "1"; E_b - енергія яка витрачається на передачу біту інформації; $N_0/2$ - спектральна щільність потужності шуму; $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{t^2} dt$ - інтеграл ймовірності.

Спектральна густина маніпульованого сигналу MSK представляється виразом [1–3]:

$$H(f) = \frac{16PT_0}{\pi^2}\left(\frac{\cos(2\pi T_0)}{1 - 16f^2 T_0^2}\right). \quad (4)$$

де P - середня потужність маніпульованого сигналу. В моменти коли $T_0 = 1$, очевидні нулі $H(f)$ для 0,75, 1,25 і т.п.

В статті розглядаються можливості поєднання гаусівської частотної маніпуляції із завадостійким кодуванням для підвищення завадостійкості телекомунікаційних каналів передачі інформації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій та синтез пристроїв формування та оброблення сигналів з частотною маніпуляцією. Проведемо синтез блоку оброблення сингалів частотної маніпуляції із врахуванням міжсимвольного зв'язку який притаманний таким сигналам з безперервною фазою.

Представимо аналітично сигнал з частотною маніпуляцією наступним чином:

$$U(t) = U_m \cos(2\pi f_н t + \psi_t), \quad (5)$$

де U_m - амплітуда сигналу; $2\pi f_н = \omega_н$ - частота носійної; ψ_t - фаза сигналу.

$$\psi_t = S_k \pi h / T(t - (k-1) - T_0) + \pi h \sum S_j + \psi_0, \quad (6)$$

де $h = 2\pi \Delta f_д T_0$; $\Delta f_д$ - девіація частоти; $S_k \in \{\pm 1\}$ - інформаційні символи; ψ_0 - випадкове значення початкової фази.

Загальну схему формування частотно-маніпульованого сигналу подано на рис. 2 [1–6]:

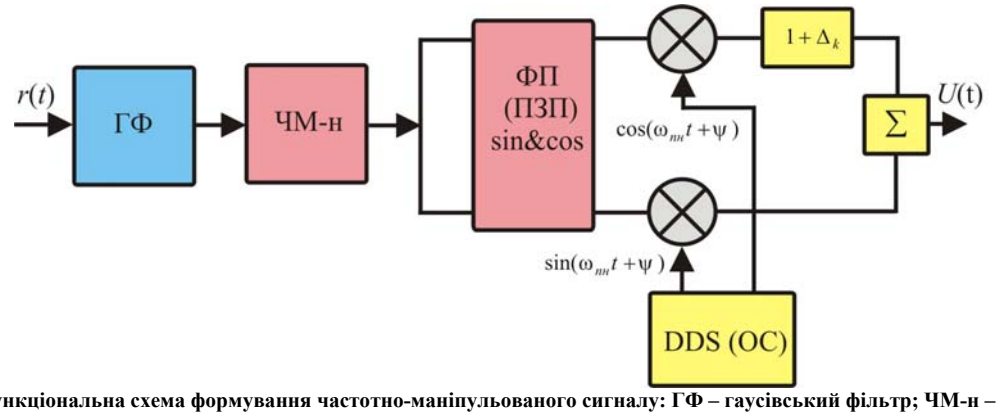


Рис. 2. Функціональна схема формування частотно-маніпульованого сигналу: ГФ – гаусівський фільтр; ЧМ-н – частотний маніпулятор; ФП (ПЗП) sin&cos – функціональний перетворювач (постійний запам'ятовуючий пристрів); Δ_k - коефіцієнт неоднозначності; DDS (OC) – цифровий синтезатор (опорний синтезатор); $\sum$ - суматор

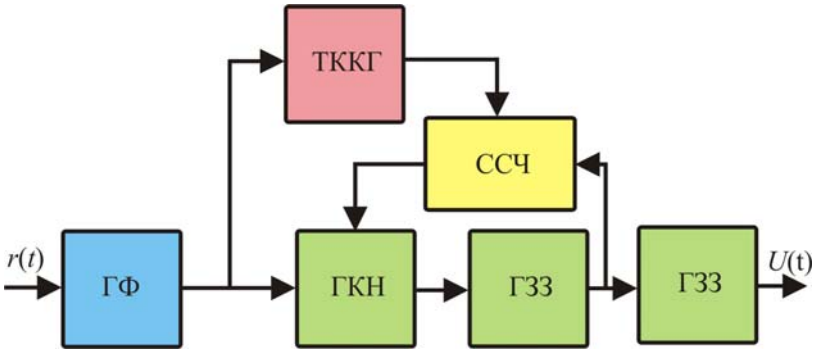


Рис. 3. Схема формування частотно-маніпульованого сигналу: ТККГ - термокомпенсований кварцевий генератор; ССЧ – синтезатор сітки частот; ГКН – генератор керований напругою; ГЗЗ – генератор зовнішнього збудження

Можливий інший варіант схеми формування сигналів частотної маніпуляції, з використанням каскадного з'єднання гаусівського фільтру та генератора керованого напругою (ГКН) [1]. Однак, в цьому випадку, реалізація пристроїв генерування та формування сигналів частотної маніпуляції повинна здійснюватись із врахуванням наступних обставин. При використанні синтезаторів в схемах формування сигналів частотної маніпуляції слід врахувати, що масиви даних які представляють собою послідовність одиниць та нулів мають спектральний відгук який поширюється майже до постійних значень сигналів. В цьому випадку, більшість сучасних синтезаторів будуть нечутливими до таких низькочастотних сигналів (типовий синтезатор має частотну характеристику тупу фільтра низьких частот). Саме в цьому випадку доцільно використовувати квадратурну схему рис. 2 і схему із термокомпенсованими кварцовими генераторами які виключено зі зворотного контуру за частотою [7, 8]. Термокомпенсовані генератори (ТККГ) дозволяють отримати стабільність частоти від ± 0.5 ppm до ± 10 ppm. Тип вихідного сигналу таких генераторів - CMOS і clipped Sine [7]. Схема такого формувача представлена на рис. 3. В схемі, одна частина сигналу спрямовується до ГКН, а друга частина використовується для модуляції ТККГ. Таким чином, кварцовий генератор виключено з контуру зворотного зв'язку. Отже, ТККГ може модулюватись сигналом низької частоти і його вихідний сигнал ефективно додається до сигналу який модулює ГКН в синтезаторі. Комбінований сигнал буде мати спектральний відгук який поширюється до постійного сигналу.

Загалом, схеми формування сигналів з частотною маніпуляцією представлені на рис. 2 та 3 можна доповнити схемою попереднього диференціального кодування. На рис. 4 представлено можливі варіанти такої конфігурації пристрою генерування та формування сигналів. Диференціально-закодовані дані мають таку перевагу, що інформація міститься у змінах фази, а не безпосередньо в самій фазі. У випадку передавання сигналів частотної маніпуляції виникає фазова невизначеність $\pm\pi$, яка призводить до виникнення ефекту "зворотної роботи" демодулятору [9]. Крім того, більшість методів синхронізації та поновлення носійної призводять до виникнення фазової невизначеності [9–11]. Диференціальне кодування дозволяє здолати дану невизначеність так як інформація міститься в різницях фази, а абсолютні значення фази виключаються. Диференціально-кодований сигнал містить інформацію первинного сигналу так як кожний біт даних закодований відносно попереднього біту, як показано на рис. 4 а, б. Однак, слід мати на увазі, платою за усунення фазової неоднозначності є збільшення ймовірності бітової помилки (BER) вдвічі, так як кожна помилка в біті даних буде приводити до виникнення помилки у сусідньому біті.

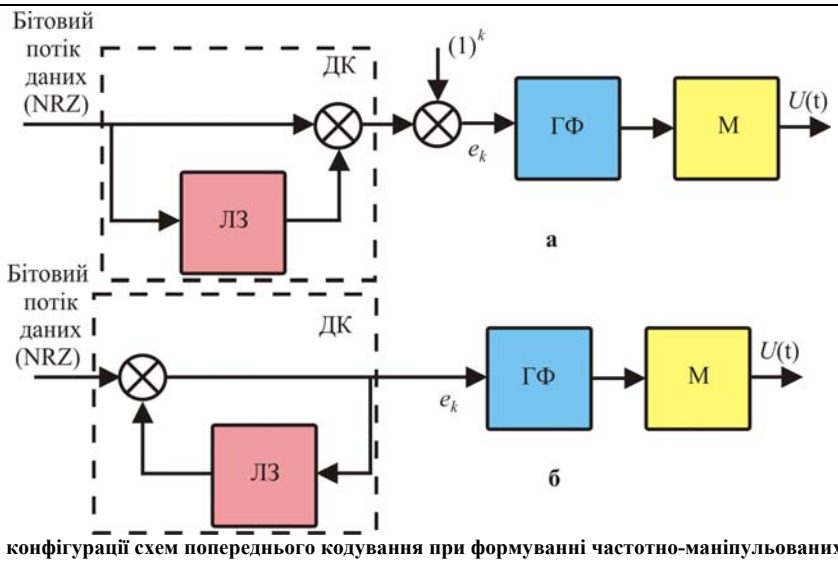


Рис. 4. Варіанти конфігурації схем попереднього кодування при формуванні частотно-маніпульованих сигналів: ГФ – гаусівський фільтр; М – маніпулятор (модулятор); ЛЗ – лінія затримки; ДК – диференційний кодер

Розглянемо схемотехнічні особливості реалізації пристроїв генерування та формування сигналів частотної маніпуляції. На рис. 5–7 представлено цифрові схеми передавачів частотно-маніпульованих сигналів. В схемі на рис. 5 сигнал NRZ дискретизується з використанням $n_д$ відліків для кодованого сигналу на виході модулятору та на відміну від схем на рис. 4, замість аналогового гаусівського фільтра потрапляє на КІХ-фільтр з імпульсною характеристикою $g[n]$. Кількість відліків дискретизації $n_д$ визначає кількість виводів КІХ-фільтру і кількість бітів квантування. Їх значення слід визначити з умови мінімізації змін в сигналі який має бути переданий. Зокрема, на рис. 5 представлено схему де вхідний NRZ–сигнал дискретизується з використанням одного відліку на біт. В даному випадку пристрій передискретизації вводить додаткові нулі між вхідними відліками і генерує послідовність дискретних змін які потрапляють на КІХ-фільтр з імпульсною характеристикою $g[n]$. На рис. 5 цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), розташовуємо відразу після КІХ-фільтру так як в схемі використано аналоговий ГКН. Однак, як показано на рис. 5, схему можна змінити додавши замість ГКН генератор з цифровим керуванням. Можливий варіант схеми у випадку коли замість ГКН використовується квадратурний модулятор, рис. 2.

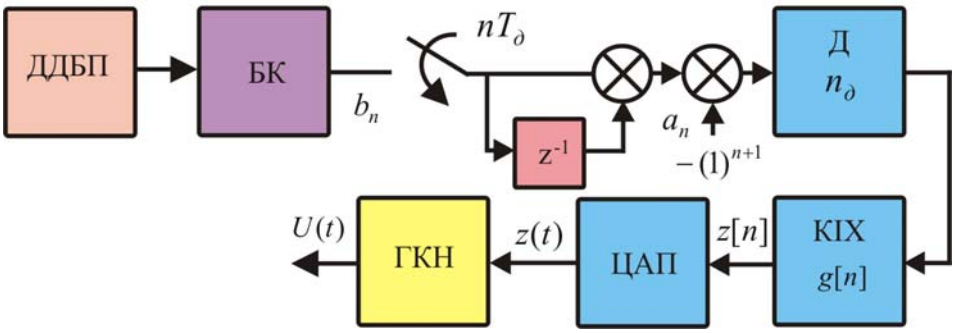


Рис. 5. Варіант схеми предекодера формувача частотно-маніпульованих сигналів: ДДБП – джерело даних бітового потоку; БК – бітовий конвертер; Д – пристрій дискретизації; КІХ – цифровий фільтр; ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач; ГКН – генератор керований напругою

Синтез квадратурного модулятора можна провести використовуючи декомпозицію Лорана для комплексної обвідної GMSK яку представлено лінійною комбінацією послідовності імпульсів [4].

$$U(t) = U_m \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[b_{2n} C_0 (t - 2nT_0) - b_{2n+1} b_{2n} b_{2n-1} C_1 \left(t - 2nT_0 - T_0 \right) \right] + \\ jU_m \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[b_{2n+1} C_0 (t - 2nT_0 - T_0) - b_{2n} b_{2n-1} b_{2n-2} C_1 \left(t - 2nT_0 \right) \right] . \quad (7)$$

На рис. 6 представлено перші три генеровані імпульси C_0, C_1, C_2 отримані засобами Matlab. Зокрема, з графіків отриманих для $h = 0{,}5$, $B \cdot T_0 = 0{,}25$ визначаємо, що перші два імпульси розкладання мають достатню величину, тоді як третій імпульс C_2 ледь помітний. Фактично, достатньо одного імпульсу C_0 для лінеаризованої апроксимації модуляції GMSK.

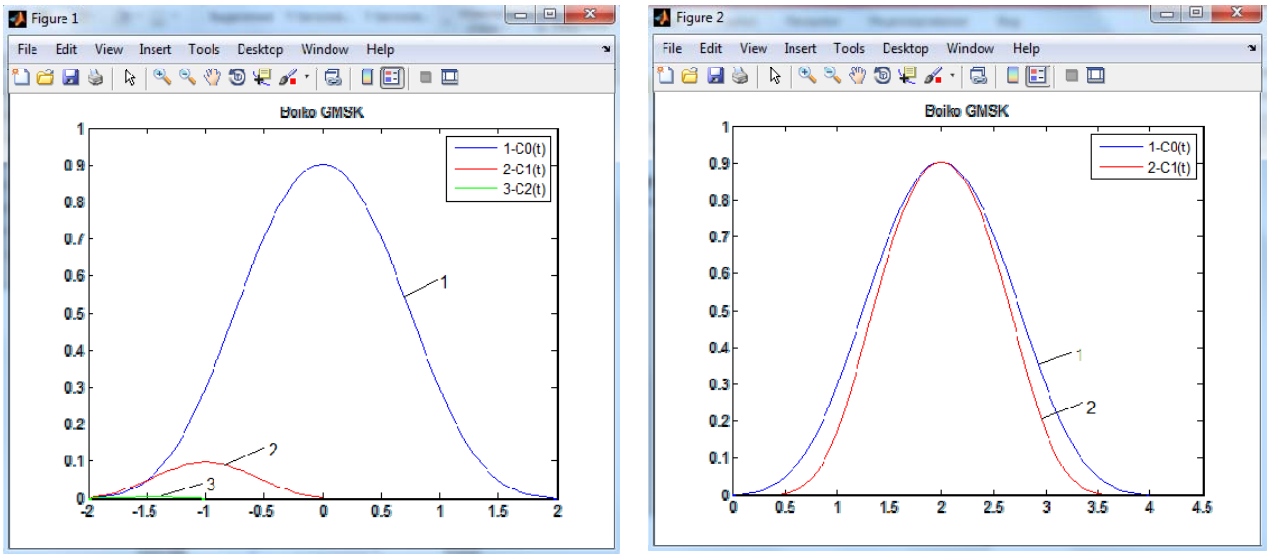


Рис. 6. Імпульси декомпозиції Лорана для комплексної обвідної GMSK: 1 - C_0 ; 2 - C_1 ; 3 - C_2

На рис. 7 представлено реалізація передавача частотно-маніпульованих сигналів з використанням підходу описаного вище:

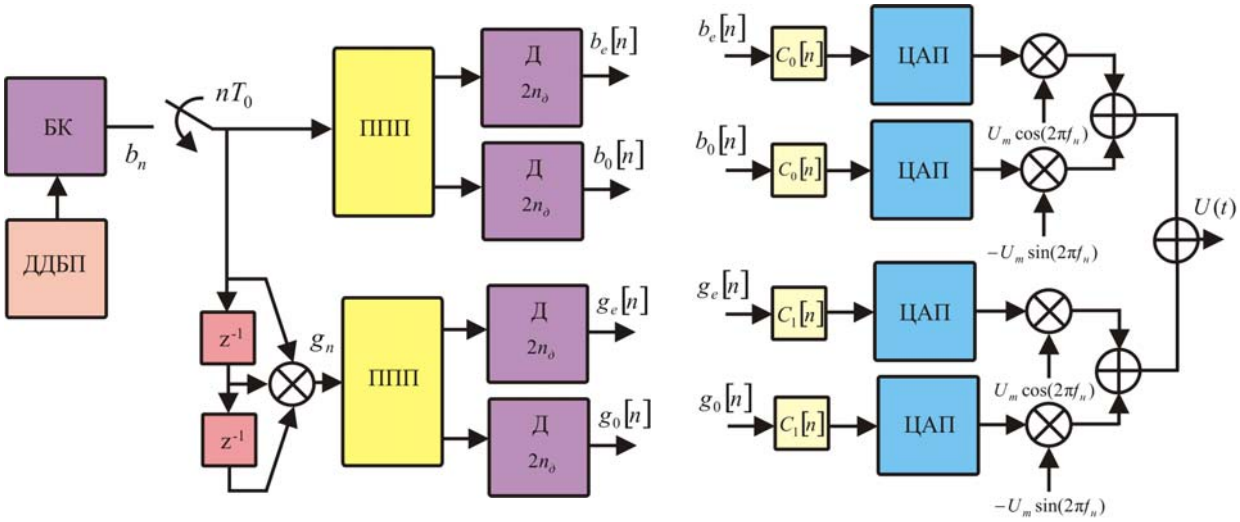


Рис. 7. Схемна реалізація квадратурного передавача з частотною маніпуляцією: ДДБП – джерело даних бітового потоку; БК – бітовий конвертер; Д – пристрій дискретизації; ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач; ППП – послідовно-паралельний перетворювач

Дослідження дозволяють встановити необхідні параметри цифрового оброблення сигналів для мінімізації спотворень в схемах формуванням сигналів на рис. 7 для $B \cdot T_0 = 0{,}25$, $n_\partial \geq 4$ і кількість бітів квантування які слід використати в КІХ-фільтрі складає $n_к \geq 12$. Для фільтру з імпульсною характеристикою $g[n]$ кількість виводів КІХ-фільтру повинно бути не менше $6n_\partial$ для GMSK з $B \cdot T_0 = 0{,}25$ і не менше $5n_\partial$ для GMSK з $B \cdot T_0 = 0{,}5$. Для фільтра з імпульсною характеристикою $C_0[n]$ кількість виводів повинна бути не менше $4n_\partial$ для GMSK з $B \cdot T_0 = 0{,}25$ і 0,5 і для $C_1[n]$ - $2n_\partial$ виводів. На рис. 6 представлено комплексну обвідну сигналів GMSK для випадку $B \cdot T_0 = 0{,}25$. Для генерації сигналу використано обидві компоненти (7) сигнальні траєкторії яких показані на рис. 8. На рис. 9 представлено око-діаграми для випадку $B \cdot T_0 = 0{,}25$. З метою мінімізації міжсимвольної інтерференції до складу розглянутих схем формування з передкодуванням додавався еквалайзер на основі фільтра Вінера [9].

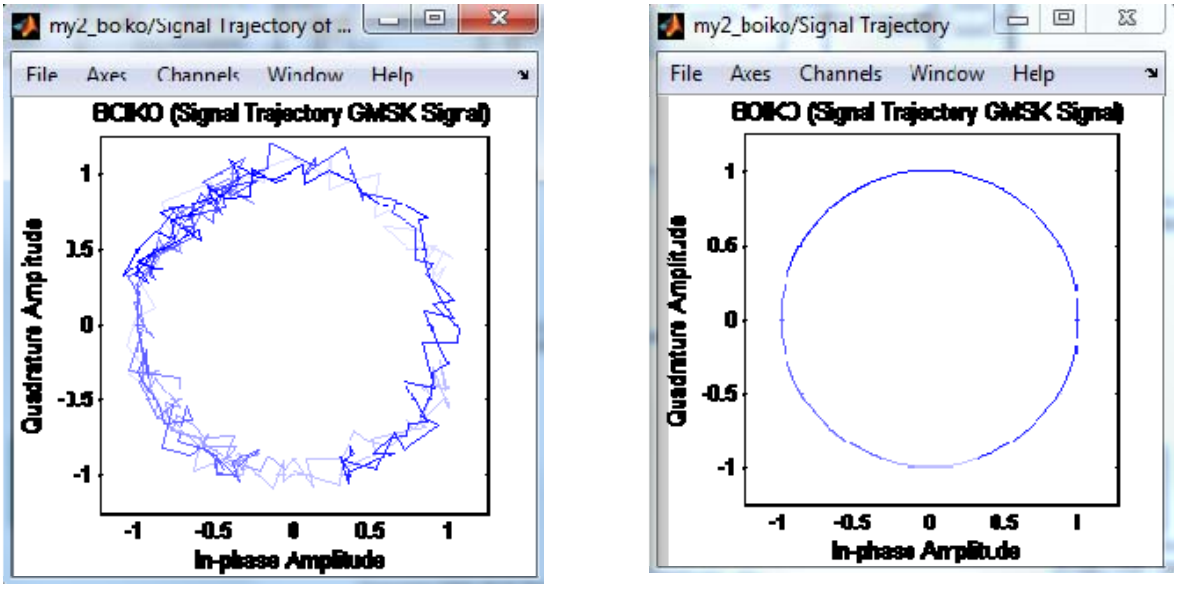


Рис. 8. Сигнальні траєкторії GMSK для амплітудних компонент (7), $B \cdot T_0 = 0{,}25$

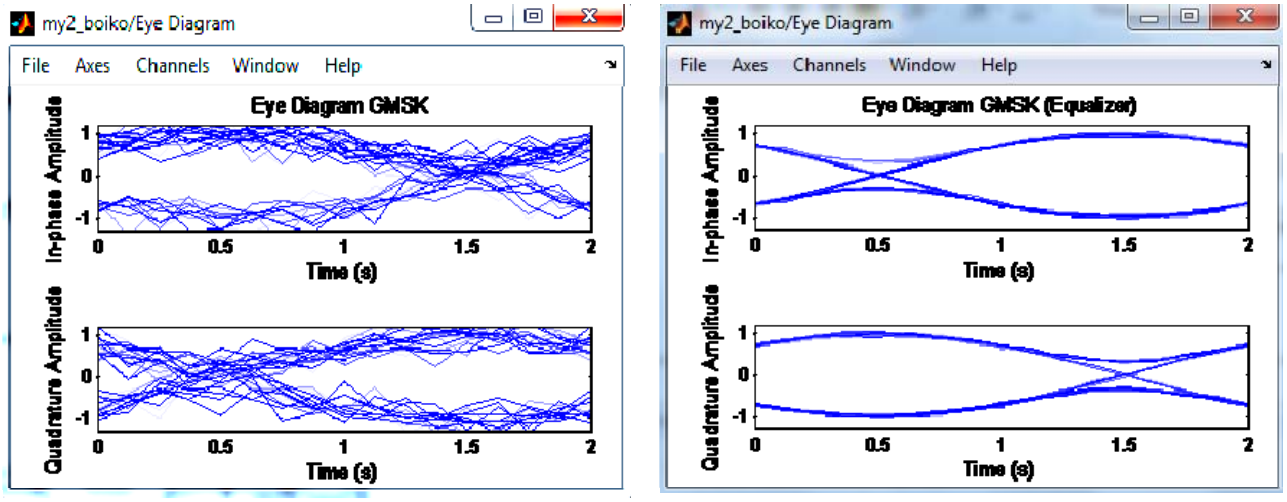


Рис. 9. Око-діаграми GMSK $B \cdot T_0 = 0{,}25$ **для оцінювання впливу компенсації міжсимвольної інтерференції**

Використаємо наведені вище підходи до формування частотно-маніпульованих сигналів, та проведемо синтез пристрою приймання та оброблення таких сигналів.

Вплив на приймальну частину аналітично представимо наступним чином:

$$\overline{\eta} = \overline{\eta}(t) = U(Y, X, t) + \overline{n}(t), \tag{8}$$

де $\overline{\eta}(t)$ - вектор реалізацій оброблювальних сигналів; $U_t(Y,X) = U(Y,X,t) = u_1(Y,X,t), u_2(Y,X,t), u_3(Y,X,t), ...u_n(Y,X,t)$ - сукупність відомих функцій часу і випадкових процесів; $\overline{n}(t) = (n_1(t), n_2(t), n_3(t), ..., n_n(t))$ - вектор білого гаусівського шуму у телекомунікаційному каналі передачі інформації із статистичними характеристиками: $\langle \overline{n}(t) \rangle = 0$, $\langle \overline{n}(t) u^{-\mathrm{T}}(t+\tau) \rangle = 1/2N\delta(\tau)$ і N - матриця спектральних щільностей шумів; $\delta(\tau)$ - функція Дірака; Т – позначення операції транспонування.

Вихідне співвідношення для побудови моделі блоку оброблення сигналів через апостеріорний розподіл ймовірностей дискретного процесу представимо наступним чином [1-3]:

$$P(U_1^{k+1} | \eta^{-k+1}) = C_{k+1} P(U_{k+1} | U_k) F(U_{k+1}) P(U_1^k | \eta_1^{-k}), \tag{9}$$

де C_{k+1} - константа нормування; $P(U_{k+1} | U_k)$ - перехідна матриця;

$$F(U_{k+1}) = e^{\left[\int_{kT_0}^{(k+1)T_0} f(U_{k+1,} t) dt \right]}, \tag{10}$$

$$f(U_{k+1,} t) = -[\overline{\eta}_t - U_t(U_{k+1})]^{\mathrm{T}} N^{-1} [\overline{\eta}_t - U_t(U_{k+1})], \tag{11}$$

функція правдоподібності; T_0 - тактовий інтервал передачі дискретного сигналу; U_k - значення

дискретного процесу на k-тому тактовому інтервалі $((k-1)T_0 \le t < kT_0); U_1^k$ - послідовність значень дискретного сигналу: $U_1, U_2 ... U_k$.

У відповідності до математичної моделі (8) вхідний вплив формалізовано представимо наступним чином:

$$\overline{\eta}_t = \sqrt{\frac{2E_b}{T_0}} \cos(2\pi f_н t + \psi_t) + n_t, \tag{12}$$

де E_b - енергія сигналу протягом одного інформаційного біту; $\psi_t = \psi(t)$ - фаза сигналу; $2\pi f_н = \omega_н$ - носійна частота; n_t - гаусівський білий шум із спектральною щільністю $N_0/2$.

Представимо сигнали у квадратурних каналах наступними виразами:

$$\left.\begin{aligned} \eta_{1t}^{/} &= \sin\psi_t + \sigma_ш \zeta_{1t} \\ \eta_{2t}^{/} &= \cos\psi_t + \sigma_ш \zeta_{2t} \end{aligned}\right\}, \tag{13}$$

де ζ_{1t} і ζ_{2t} - корельовані в часі і некорельовані між собою гаусівські процеси з одиничною дисперсією, а середньоквадратичне значення шуму опишемо виразом:

$$\sigma_ш = \sqrt{\left(mT_0 / 4h_0^2\right)}. \tag{14}$$

Для опису фази частотно-маніпульованого сигналу запишемо наступний вираз:

$$\psi(t) = S_k \frac{\pi h}{T_0}(t-(k-1)T_0) + \pi h \sum_{j=1}^{k-1} S_j + \psi_0, \qquad (k-1)T_0 \le t \le kT_0. \tag{15}$$

Функцію правдоподібності представимо аналітично наступним чином, відповідно до виразу (10):

$$F(U_{k+1}) = e^{\left[4/N_0 \int\limits_{kT_0}^{(k+1)T_0} \eta_{1t} U_{1t} dt + 4/N_0 \int\limits_{kT_0}^{(k+1)T_0} \eta_{2t} U_{2t} dt\right]}, \tag{16}$$

де $U_{1t} = U_1(t) = \sqrt{\frac{E_b}{2T_0}} \sin\psi_t$; $U_{2t} = U_2(t) = \sqrt{\frac{E_b}{2T_0}} \sin\cos\psi_t$.

Використаємо вираз (9) та (16) і для нашого випадку отримаємо:

$$\lg P(U_1^{k+1} \left| \overline{\eta}_1^{k+1} \right.) = \lg C_{k+1} + \lg P(U_{k+1} \left| U_k \right.) + \frac{4}{N_0} \int\limits_{kT_0}^{(k+1)T_0} \eta_{1t} U_{1t} dt + \frac{4}{N_0} \int\limits_{kT_0}^{(k+1)T_0} \eta_{2t} U_{2t} dt + \lg P(U_1^k \left| \overline{\eta}_1^k \right.). \tag{17}$$

У виразі (16) $P(U_{k+1} \left| U_k \right.)$ використаємо як нормувальну складову, а під вектором $\overline{\eta}(t)$ будемо розуміти сукупність квадратурних компонентів η_{1t}, η_{2t}.

Структуру пристрою оброблення частотно-маніпульованого сигналу представлено на рис. 10.

Принцип функціонування такої схеми наступний. Сформовані в системі ФАП опорні сигнали $\cos(2\omega_{пн} t + \psi)$, $\sin(2\omega_{пн} t + \psi)$ надходять на фазові детектори (ФД) для виділення квадратурних низькочастотних складових U_{1t} і U_{2t}. Крім того, система ФАП буде призначена для усунення випадкового початкового значення фази. Після виділення квадратурних складових в кожному каналі відбувається процес розділення на підканали, які будуть відповідати відповідним гіпотезам. Загалом кількість таких гіпотез обмежена. Формування опорних сигналів для підканалів виконується у формувачах з керованим комутатором початкових фаз. Зворотний зв'язок частотних модуляторів (ЧМ) з формувачем опорних сигналів вказує на перехід гіпотези з одного підканалу в іншій, так як в цьому випадку по колу зворотного зв’язку повинна передаватись інформація щодо фази яка відповідає поточній гіпотезі. Нормування гіпотез додаванням нормувального доданку, аналогічно фіксатору певного рівня. Після пристрою рішення послідовності символів потрапляють на формувач опорних сигналів минаючи фільтр, а далі виконується частотна модуляція різними ансамблями сигналів і після взаємокореляційної обробки обирається максимальне значення. Можливий варіант коли у формувачі квадратурних опорних сигналів регенеровані символи проходять через гаусівські фільтри, аналогічно до рис. 2 і 3. Загалом, критерій обмеження кількості гіпотез за які згадується вище, полягає в тому, що встановлюється максимальна кількість гіпотез, з яких після зважування (16) відкидається половина з меншими вагами у відповідності до (16). Кожна з гіпотез яка залишилась для наступного такту доповнюється нулем або одиницею і утворює дві нові гіпотези Для кожної гіпотези формуються нові опорні сигнали для реалізації (15), причому як вхідну величину можна використати оцінку k – того останнього біту, або біту із зсувом із врахуванням глибини заданого сценарію. Такий підхід вимагає врахування тривалості перехідного процесу в схемі фільтрації і встановлення мінімального граничного рівня гіпотез з метою мінімізації спотворень бітових посилок.

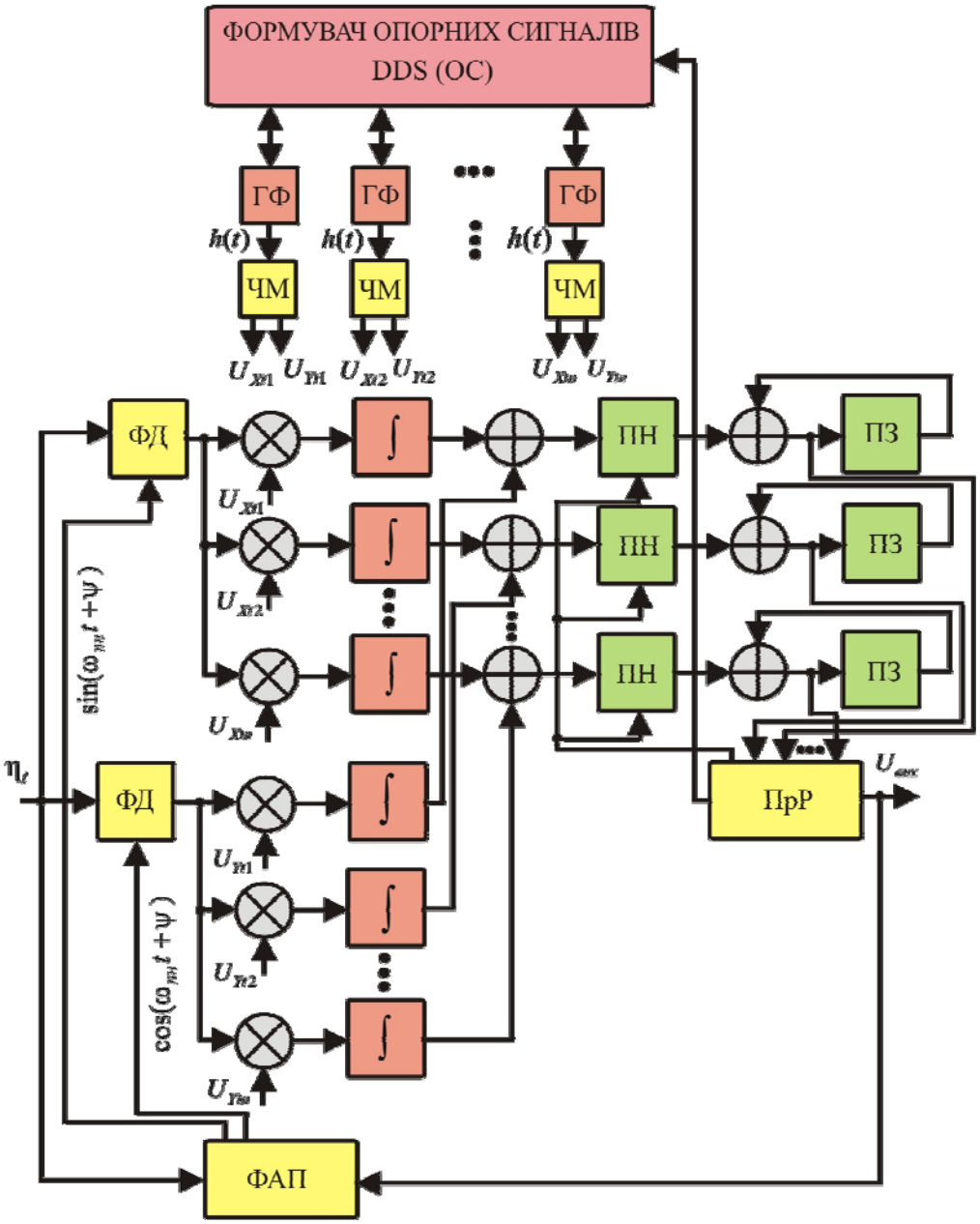


Рис. 10. Структурна схема синтезованого пристрою приймання та оброблення частотно-маніпульованого сигналу: ФАП – система фазового автопідстроювання частоти; ФД – фазовий детектор; ПЗ – пристрій затримки; ПН – пристрій нормування; $\int$ – інтегратор; ПрР – пристрій рішення; ГФ – гаусівський фільтр

Дослідження сигнально-кодової конструкції з частотною маніпуляцією

В роботі [12] було зазначено, що ефективність коду Ріда-Соломона (недвійкового коду), залежить лише від числа символьних помилок у блоці. Код не спотворюється пакетами помилок в межах N – бітного символу. Ця обставина особливо цінна для перерахованих на початку статті телекомунікаційних стандартів та систем зв'язку, так як пакетні помилки істотно впливають на їх завадостійкість. Проведемо синтез структури коду Ріда-Соломона для сигнально-кодової конструкції з частотною маніпуляцією. В теорії завадостійких кодів важливе значення відіграють поля які утворено кінцевою множиною елементів і які називають полями Галуа. Такі поля позначаються як GF [11–14]. Кінцеві поля існують не при будь-якому числі елементів, а лише в тому випадку, якщо їх кількість – просте число p або його ступінь p^m, де m – ціле число. В першому випадку поле GF(p) називається простим, а в другому – розширенням GF(p^m) простого поля. Слід акцентувати увагу на наступному, результатом складання або множення двох елементів поля є третій елемент з тієї ж кінцевої множини. Таким чином, для простого кінцевого поля анонсована вище вимога забезпечується проведенням арифметичних операцій за модулем числа p, яке носить назву характеристики кінцевого поля [11, 12]. Надважливий момент для подальшого використання в процесі формування завадостійкого коду, є момент пов'язаний з тим, що елементом β розширеного поля GF(p^m) може бути багаточлен ступеню m-1, або менше, коефіцієнти якого лежать у простому полі GF(p). Число p^m називають порядком розширеного поля яке визначає кількість різних багаточленів. Правила додавання і множення поліномів - елементів розширеного кінцевого поля виходять зі звичайних правил додавання і

множення поліномів з подальшим приведенням результату по модулю деякого спеціального багаточлена $p(x)$ ступеня m. Слід зазначити, що регулярних методів пошуку неприведених (тобто його не можна розкласти на множники) поліномів не існує, вони звичайно визначаються перебором. На даний час сформовано таблиці неприведених поліномів [12]. Надалі, при формуванні ССК в роботі для забезпечення умов завдання поставленого в статті, слід буде вибрати такий поліном.

Розглянемо особливості застосування недвійкового коду Ріда-Соломона з використанням недвійкових кодів та описаного вище поля Галуа. При роботі з кодами Ріда-Соломона відсоток надлишкових символів в 2 рази більше відновлюваного обсягу даних. Якщо ми маємо послідовність з 10 символів і хочемо мати можливість відновити помилки в 3-х з них (30% вихідної інформації), то нам потрібно зберігати рівність: 10 + 3 · 2 = 16 символів. Проведемо опис кожної змінної: n = 10 - кількість інформаційних символів; f = 3 - кількість відновлюваних символів; g = 16 - довжина закодованої послідовності. Таким чином, формулу можна записати так:

$$g = n + f \cdot 2 . \tag{18}$$

Для роботи з цифровими даними використаємо число p=2 в якості характеристики поля. При m=1 елементом кодової послідовності буде біт, при m = 8 - 8 біт, тобто байт. Саме таку конфігурацію використаємо для синтезованого нижче коду РС, тобто будемо працювати з байтовою конструкцією.

В системі прямого виправлення помилок використаємо код РС (255, 239), що володіє високою ефективністю в середовищах з пакетними помилками. Структура коду буде наступною: довжина кодового слова n = 255 байт; кількість інформаційних символів в блоці даних k = 239 байт; кількість помилок, що виправляються в кодовому слові, $t = (n - k)/2$=8; кількість помилок, які виявляються в кодовому слові, $2 \cdot t$ = 16. На рис. 11 представлена структура коду РС (255, 239) [12].

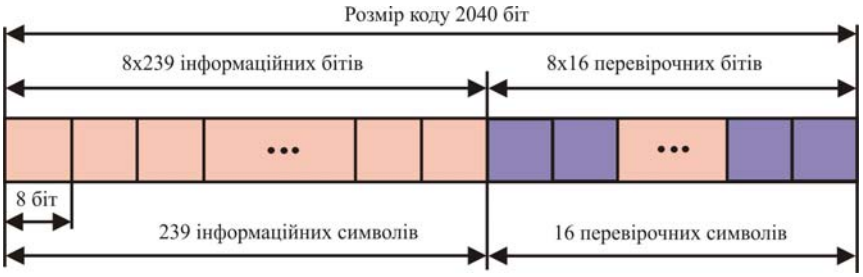


Рис. 11. Структура коду Ріда-Соломона (255, 239)

Кодек в схемі виправлення помилок обробляє блок даних (інформаційні байти 1 ... 239) і обчислює перевірочні символи (байти 240 ... 255), рис. 12.

Байти які належать до кодового слова x, представимо наступним чином:

$$x + 16(j-1),\ j = 1...255 . \tag{19}$$

Генераторний багаточлен представимо наступним чином:

$$G(z) = \prod_{i=0}^{15} (z - \alpha^i) , \tag{20}$$

де α - є коренем двійкового примітивного поліному типу: $x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$.

Представимо конструкцію кодового слова у вигляді багаточлену наступним чином:

$$Y(z) = K(z) + D(z) , \tag{21}$$

тобто як сукупність інформаційних та перевірочних байтів, рис. 12.

Інформаційні байти представимо в наступній формі поліному:

$$K(z) = K_{254} \cdot z^{254} + K_{253} \cdot z^{253} + ... + K_{16} \cdot z^{16} , \tag{22}$$

де $K_j (j = 16...254)$ - інформаційний байт представлений елементом з поля Галуа GF(256), тоді $K_j = k_{7j} \cdot \alpha^7 + k_{6j} \cdot \alpha^6 + ... + k_{1j} \cdot \alpha^1 + k_{0j}$.

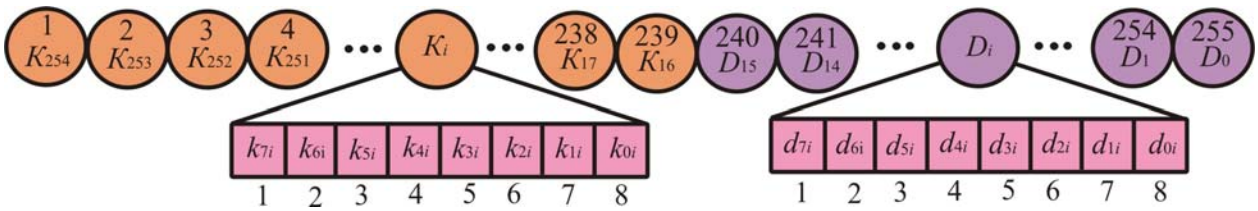


Рис. 12. Структура кодового слова у випадку завадостійкого кодування з виправленням помилок

Опишемо структуру такої конструкції: біт k_{7j} - старший значущій біт, а k_{0j} - молодший значущій біт; байт K_{254} - відповідає першому байту в кодовому слові, а K_{16} - 239.

Представимо байти перевірки на парність наступним чином:

$$D(z) = D_{15j} \cdot z^{15} + D_{14} \cdot z^{14} + ... + D_1 \cdot z^1 + D_0 , \tag{23}$$

де D_j (j =0…15 – перевірочний байт який подано елементом з поля Галуа GF(2^8) і $D_j = d_{7j} \cdot \alpha^7 + d_{6j} \cdot \alpha^6 + ... + d_{1j} \cdot \alpha^1 + d_{0j}$.

Біт d_{7j} - старший значущій біт, d_{0j} - молодший значущій біт байту перевірки на парність. Байт D_{15} - відповідає байту 240 в підстрічці, яка відповідає за кодування із прямим виправленням помилок (FEC) і байт R_0 відповідає байту 255.

Будемо обчислювати перевірочні байти $D(z)$ наступним чином:

$$D(z) = K(z) \bmod Y(z), \tag{24}$$

де mod - модуль обчислений за генераторним поліномом $Y(z)$ з елементами з GF(2^8). Кожен елемент в полі Галуа типу GF(2^8) буде визначатись примітивним поліномом типу: $x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$. Хеммінгова відстань коду Ріда-Соломона (255, 239) - $d_{\min} = 17$.

В режимі виправлення помилок код може виправляти до 8 помилок символів в кодовому слові FEC і може виявляти до 16 помилок символів в кодовому слові FEC в режимі виявлення помилок [12].

Кодування виконуємо з допомогою зворотного перетворення Фур'є:

$$c_j^{/} = C(z^j), \tag{25}$$

де z =2 – примітивний елемент поля.

Врахуємо також наступні обставини: для формування СКК потрібно з'ясувати які елементи будуть інформаційними, а які перевірочні (надлишкові). Вище було зазначено, що кількість надлишкових символів має бути в два рази більше, ніж та кількість помилкових символів, яку потрібно відновити. Якщо необхідно виправити двократну помилку (t=2 - кратність помилки), тоді, відповідно, слід використовувати чотири перевірочні символи.

Декодування буде виконуватись у відповідності до формули:

$$c_j = C^{/}(z^{-j}). \tag{26}$$

Щоб перевірити чи не відбулося спотворення інформації досить оцінити надлишкові символи. Якщо вони дорівнюють нулю, то помилки відсутні. Для виправлення помилки, в першу чергу, необхідно визначити позиції помилкових символів. Для цього необхідно обчислити поліном локаторів помилок, корені якого будуть вказувати на позиції помилок. У матричному вигляді поліном локаторів представимо наступним чином: $L = [1, l_1, l_2, ... l_t]$.

Проведемо формування матриці і вектору-стовбцю якій необхідний для обчислення локаторів помилки L. Формалізовано цей процес подамо наступним чином:

$$G = \begin{pmatrix} S_{t-1} & ... & S_1 & S_0 \\ & ... & & \\ S_{2t-2} & & S_t & S_{t-1} \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} l_1 \\ ... \\ l_t \end{pmatrix} = G^{-1} \cdot J, \quad J = \begin{pmatrix} S_{t-2} \\ ... \\ S_{2t-2} \end{pmatrix}, \tag{27}$$

Обчислюємо обернену матрицю G^{-1} із врахуванням правил обрахунку в полі Галуа [12]. Складаємо вектор помилки із спотвореною кодовою послідовністю та отримаємо правильно закодовану послідовність у випадку декодування якої отримаємо вірні інформаційні символи.

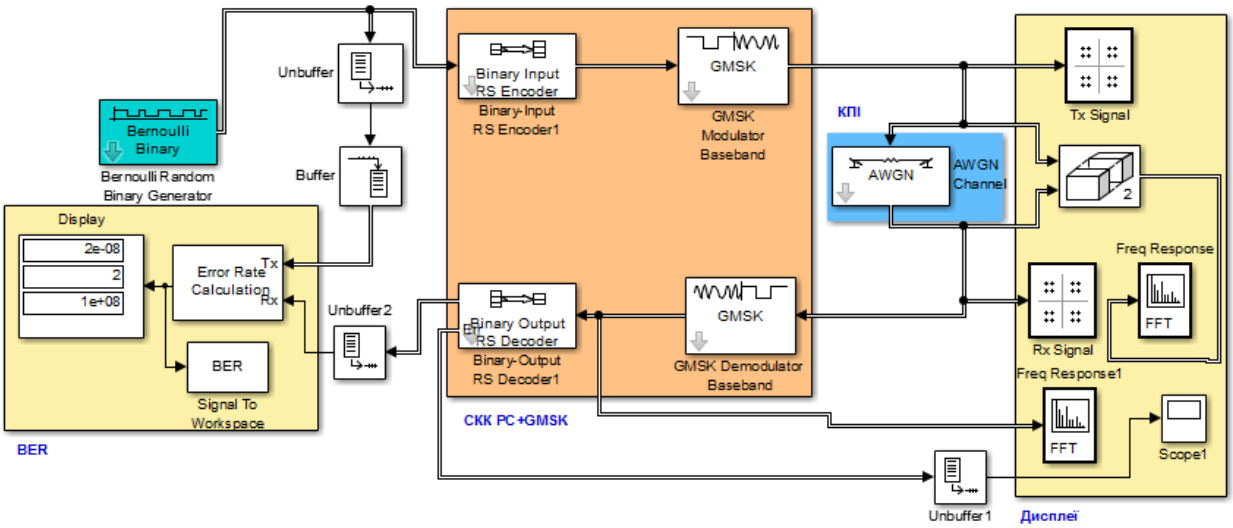


Рис. 13. Синтезована імітаційна схема телекомунікаційного каналу передачі інформації з сигнально-кодовою конструкцією на основі коду Ріда-Соломона і частотної маніпуляції

На рис. 13 представлена імітаційна схема для дослідження можливостей СКК на основі кодів Ріда-Соломона та GMSK маніпуляції. В схемі імпульсна послідовність кодується у декодері Ріда-Соломона (RS Encoder) та потрапляє на GMSK модулятор. Сформований сигнал через канал передачі інформації AWGN надходить на частотний демодулятор та декодер. Оцінювання завадостійкості проводили за допомогою блоку "Дисплеї" та "BER". На рис. 14 представлена типова структура фрейму для передачі даних в телекомунікаційному каналі передачі інформації.

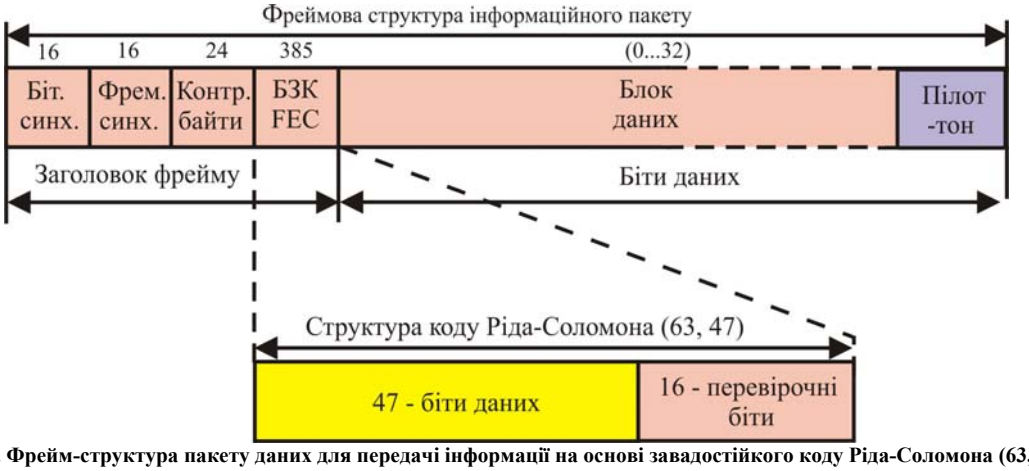


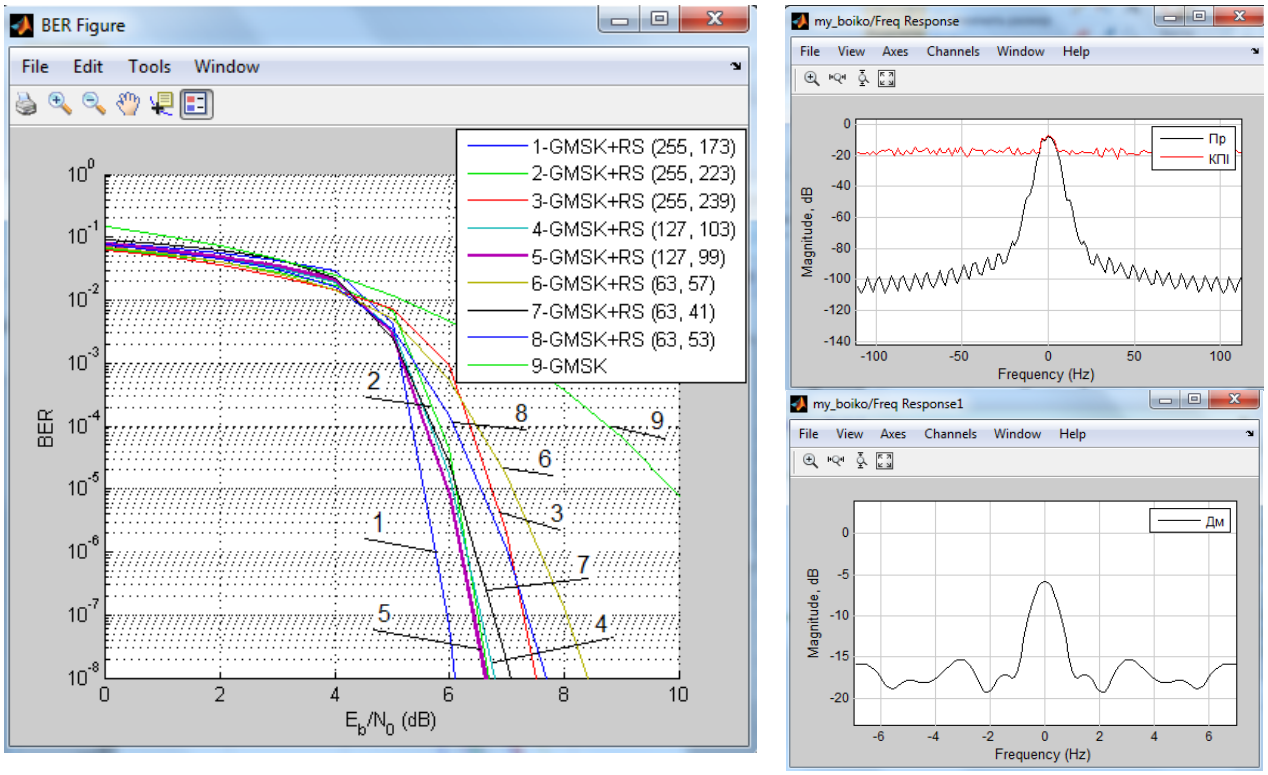
Рис. 14. Фрейм-структура пакету даних для передачі інформації на основі завадостійкого коду Ріда-Соломона (63, 47) в телекомунікаційному каналі із частотною маніпуляцією: Біт. синх. – біти синхронізації; Фрем. синх. – біти фреймової синхронізації; Контр. байти – контрольні байти; БЗК – біти завадостійкого кодування

Ймовірність бітової помилки для коду Ріда-Соломона обчислюється з формули [12, 13]:

$$p_0 \approx \frac{q/2}{(q-1)} \frac{1}{n} \sum_{i=t+1}^{n} (i+t) C_n^i p_q^i \left(1-p_q\right)^{n-i}, \tag{28}$$

де довжина блоку $n = q-1$ (звичайно $q=2^m$, тоді кодом виправляються 2^m-ні символи, m - кількість перевірочних символів коду); t - виправна здатність коду; p_q - ймовірність помилки 2^m-ного символу.

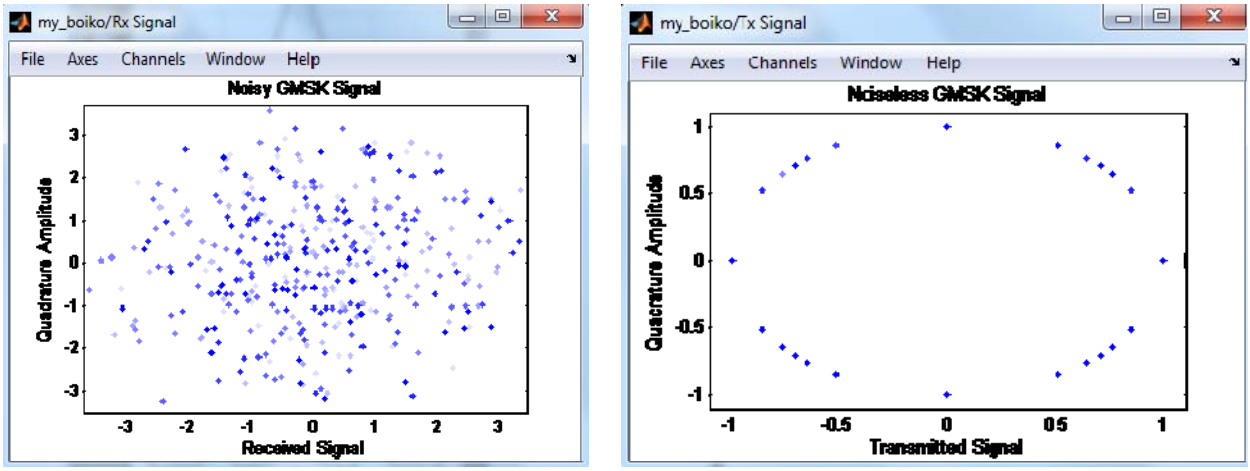
На рис. 15 представлено результати дослідження імітаційної схеми телекомунікаційного каналу передачі інформації із частотною маніпуляцією і кодуванням з виправленням помилок. На рис. 15 а, залежності для визначення завадостійкості для різних кодів, на рис. 15 б – спектральні картини на передавальному боці каналу і приймальному боці.



а б

Рис. 15. Залежності для визначення завадостійкості для різних СКК - а та спектральні картини сигналів на передавальному та приймальному боці каналу передачі інформації - б

На рис. 16 а, б представлено констеляційні діаграми сигналів після каналу переданого сигналу та сигналу після каналу передачі в умовах складної завадової обстановки і констеляційна діаграма сформованого сигналу.

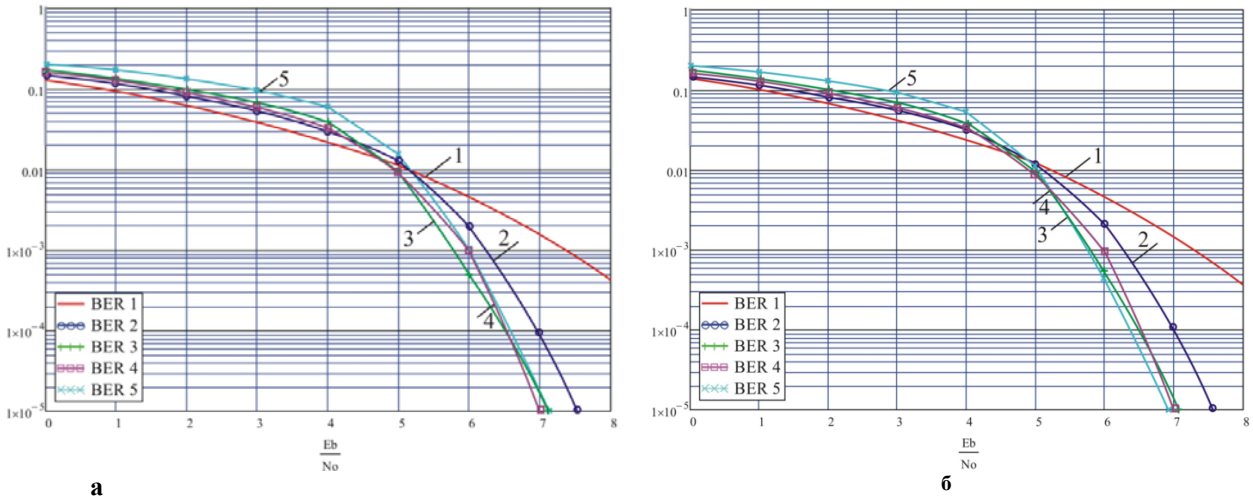


а б

Рис. 16. Констеляційні діаграми після каналу передачі інформації - а та сформованого сигналу в підсистемі СКК PC+GMSK - б

Щоб визначити яка комбінація швидкості кодування і смуги пропускання гаусівського фільтру B у випадку кодованої системи передавання інформації призведе до співрозмірного значення смуги пропускання як і у випадку системи передачі без завадостійкого кодування, використаємо наступний формат пропускної здатності телекомунікаційної системи. Доцільно використати пропускну здатність яка розраховується як ширина смуги яка містить 99,9 відсотків потужності сигналу. Дослідження показують, що такий показник має чітко виражену динаміку до збільшення при зміні $B \cdot T_0 = 0{,}4 \div 1{,}0$, що обумовлюється вкладом головного і бічних пелюсток спектру сигналу з частотною маніпуляцією у сумарне значення спектральної густини потужності такого сигналу.

На рис. 17 представлено результати дослідження продуктивності телекомунікаційного каналу з СКК на основі кодів РС і частотної гаусівської маніпуляції у випадку рівності смуг пропускання некодованої системи та кодованої, із значенням $B \cdot T_0 = 0{,}5$ і $B \cdot T_0 = 1{,}0$.

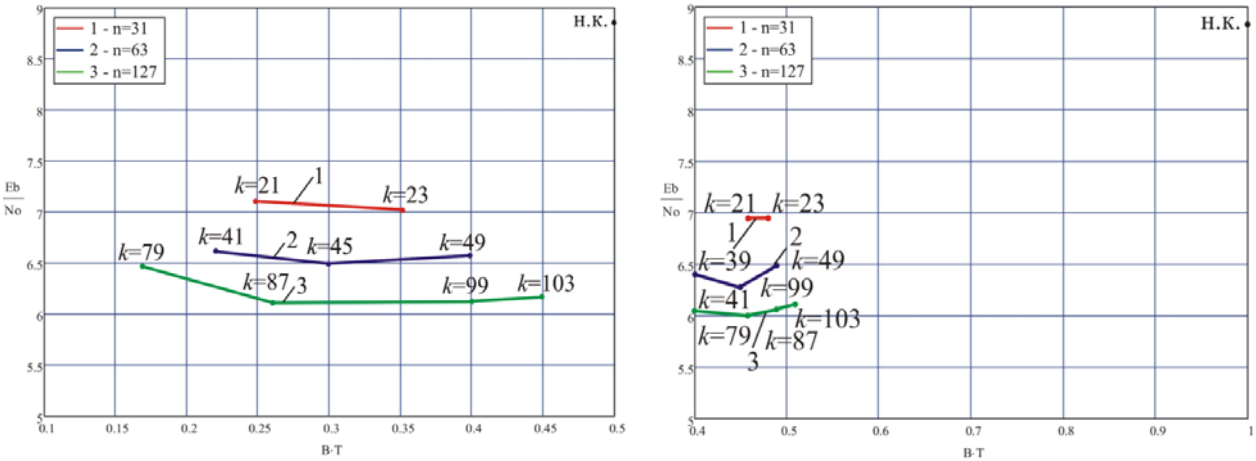


а б

Рис. 17. Графіки завадостійкості для визначення продуктивності СКК PC+ЧМ у випадку рівності смуг пропускання кодованої та некодованої системи з: а - значення $B \cdot T_0$ дорівнює : 1 – 0,5 (відсутність кодування); 2 – 0,47 (63, 57); 3 - 0,4 (63, 49); 4 - 0,46 (63, 53); 5 - 0,22 (63, 41) і б - $B \cdot T_0$ дорівнює ; 1 – 1,0 (відсутність кодування); 2 – 0,64 (63, 57); 3 – 0,49 (63, 49);4 - 0,54 (63, 53); 5 - 0,45 (63, 41)

З рис. 17 встановлюємо наступне – із зменшенням $B \cdot T_0$ ймовірність бітової помилки зменшується (швидкість кодування зменшується). Аналіз результатів дослідження дозволяє зробити наступні висновки: у випадку $B \cdot T_0 = 0{,}4$ (РС (63, 49)) ймовірність бітової помилки досягала мінімального значення. Подальше зниження кодової швидкості призводить до збільшення ймовірності бітової помилки, крива 5. Така ситуація пов'язана з тим, що хоча кодова швидкість зменшується ($R = n / k$), частота помилок в бітах частотно-маніпульованого сигналу збільшується. Таким чином, остаточний вплив зменшення кодової швидкості залежить від того, на скільки збільшується частота помилок у бітовому потоці частотно-маніпульованого

сигналу у відповідь на зменшення кодової швидкості. В цьому випадку, якщо частота виникнення помилок збільшується швидше ніж кодова швидкість, загальна ймовірність бітової помилки прийому СКК погіршується.



а б

Рис. 18. Залежності відношення сигнал/шум від $B \cdot T_0$ для BER=10^{-4}: а - $B \cdot T_0 = 0{,}5$ і $B \cdot T_0 = 1$ для некодованого каналу передачі інформації (н.к.)

Показані на рис. 17 залежності відношення сигнал/шум необхідні для досягнення ймовірності бітової помилки 10^{-4} для значень $B \cdot T_0 = 0{,}5$ і $B \cdot T_0 = 1$ для некодованого каналу передачі інформації, вказують на наступні обставини: зменшення добутку $B \cdot T_0$ визначає зменшення швидкості кодування. В цьому випадку зниження швидкості кодування призводить, загалом, до підвищення продуктивності до досягнення певного мінімуму. З рис. 18, а і б встановлюємо наступне, оптимальну СКК для РС+ЧМ для заданої спільної смуги пропускання отримуємо для РС (63, 45), енергетичний виграш становить ≈2, 5 дБ відносно некодованого каналу для $B \cdot T_0 = 0{,}5$ і ≈2,7 дБ для РС (127, 87). З рис. 18 встановлюємо, що для розглянутих ССК мінімального значення ймовірності бітової помилки досягнуто у випадку кодової швидкості 2/3.

Висновки

Отже, підсумовуючи вище викладене, варто відмітити наступні результати досліджень:

- особливість GMSK полягає в тому, що вона має сталу обвідну, яка загалом зменшує спектральне зростання і спотворення сигналу внаслідок нелінійності підсилювального обладнання;
- потужність модульованого за частотою цифрового сигналу зосереджена в вузькій смузі частот відносно носійної частоти, в межах $\pm 0{,}65 f \cdot T_0$ для $h = 2\pi \Delta f_\partial T_0 = 0{,}7$ (де Δf_∂ - девіація частоти) та в межах $\pm f \cdot T_0$ для $h = 1$.
- при використанні синтезаторів в схемах формування сигналів частої маніпуляції слід врахувати, що масиви даних які представляють собою послідовність одиниць та нулів мають спектральний відгук який поширюється майже до постійних значень сигналів. Саме в цьому випадку доцільно використовувати квадратурну схему і схему із термокомпенсованими кварцовими генераторами які виключено з зворотного контуру за частотою;
- у випадку передавання сигналів частотної маніпуляції частот виникає фазова невизначеність $\pm \pi$, яка призводить до виникнення ефекту “зворотної роботи” демодулятору. Крім того, більшість методів синхронізації та поновлення носійної призводять до виникнення фазової невизначеності. Для усунення даних проблем доцільно використовувати при формуванні сигналів частотної маніпуляції із диференційним передкодуванням;
- синтез квадратурного модулятора частотно-маніпульованого сигналу можна провести використовуючи декомпозицію Лорана для комплексної обвідної GMSK яка представляє собою лінійну комбінацію послідовності імпульсів;
- проведені дослідження дозволяють встановити наступне: з метою мінімізації міжсимвольної інтерференції до складу розглянутих схем формування з передкодуванням доцільно додати еквалайзер на основі фільтра Вінера;
- проведений опис синтез пристрою приймання та оброблення частотно-маніпульованого сигналу із врахуванням тривалості перехідного процесу в схемі фільтрації і встановлення мінімального граничного рівня гіпотез з метою мінімізації спотворень бітових посилок;
- отримано, що використання 2/3 ширини смуги частот для модуляції і 1/3 смуги частот для кодування є оптимальним для СКК на основі кодів РС і гаусівської частотної маніпуляції;
- встановлено, що для розглянутих СКК співвідношення між шириною смуг пропускання складових конструкції наступна: чим менша ширина смуги частот використаних для кодування тим ширше

смуга частот повинна бути використана для модуляції;

- з'ясовано, що для заданої ширини смуги частот каналу доцільно використовувати кодові конструкції з меншими швидкостями. Для визначення загальної продуктивності СКК в телекомунікаційному каналі, слід врахувати зниження продуктивності такого каналу у випадку зменшення кодової швидкості до певного мінімального значення.

Література

1. Шинкарук, Ю.М. Основи функціонування багатоканальних систем передачі інформації : навч. посіб. для ВНЗ / О.М. Шинкарук, Ю.М. Бойко, І.І. Чесановський. – Хмельницький : ХНУ, 2011. – 231 с.
2. Бойко Ю.М. Приймання та оброблення сигналів : навч. посіб. для ВНЗ / О.М. Шинкарук, В.І. Правда, Ю.М. Бойко. – Хмельницький : ХНУ, 2013. – 365 с.
3. T. S. Rappaport, Wireless Communications: Principles and Practice, Prentice Hall, 1996, 656 pp.
4. P. Laurent, "Exact and Approximate Construction of Digital Phase Modulations by Superposition of Amplitude Modulated Pulses (AMP)," Communications, *IEEE* Transactions on, vol. 34, no. 2, pp. 150 – 160, Feb 1986.
5. I.R. Parhomey, J.M. Boiko, O.I. Eromenko, Features of digital signal processing in the information control systems of multipositional radar, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 77/2 (2016) 75–84.
6. Бойко Ю. М. Проблеми синтезу пристроїв тактової синхронізації приймачів супутникових телекомунікаційних систем передачі інформації / Ю. М. Бойко, О. І. Єрьоменко // Вісник НТУУ КПІ. Телекомунікації, радіолокація і навігація, електроакустика. – К., 2014. – № 58. – С. 55–66.
7. Кварцевые резонаторы и генераторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.golledge.ru/products/TCXO/. — Загл. с экрана.
8. Бойко Ю.М. Схемотехнічні особливості використання синтезаторів частот в приймальному тракті цифрових приймачів / Ю.М. Бойко, В.І. Стецюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 5. – С. 219–229.
9. Бойко Ю. М. Підвищення завадостійкості блоків оброблення сигналів супутникових засобів телекомунікацій на основі модифікованих схем синхронізації / Ю. М. Бойко // Вісник НТУУ КПІ. Телекомунікації, радіолокація і навігація, електроакустика. – К., 2015. – № 61. – С. 91–107.
10. I. Kovtun, J. Boiko, S. Petrashchuk, G. Baurienė, K. Pilkauskas, Effects of the strain transmission from the main board to the installed electronic components, MECHANIKA Volume 22(6) (2016) 489–494.
11. Бойко Ю.М. Формування та дослідження телекомунікаційної системи з каскадним кодуванням із використанням турбокодів / Ю.М. Бойко // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – Київ, 2016. – № 4. – С. 29–41.
12. Бойко Ю.М. Можливості турбокодів щодо підвищення енергетичного виграшу в каналах передавання інформації / Ю.М. Бойко // Зв'язок. – К., 2016. – № 2. – С. 16–25.
13. Бойко Ю.М. Дослідження ефективності алгоритмів канального кодування в захищених телекомунікаційних системах передавання інформації / Ю.М. Бойко, Д.А. Макаришкін // Зв'язок. – Київ, 2016. – № 5. – С. 56–67.
14. J.M. Boiko, A.I. Eromenko, "Solutions Improve Signal Processing In Digital Satellite Communication Channels", 20th International *IEEE* conference on microwaves, radar and wireless communications. MIKON-2014. June, Gdansk – Poland, pp. 126–129.
15. N. Akcam, F.E. Yardim, T. Kurt, Performance analysis of psk modulation types used in satellite communication systems, International Journal "Technical and Physical Problems of Engineering", Issue 26 Volume 8, Number 1, pp. 65–70, 2016.

Рецензія/Peer review : 23.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н. Мартинюк В.В.

УДК 620.192.63

Н.М. ЗАЩЕПКІНА, О.С. ТОМАШУК, А.В. ФЕДОРЕНКО
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського "

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ПАРАМЕТРІВ ДРОТУ В ПРОЦЕСІ ЙОГО ВИГОТОВЛЕННЯ

Проаналізовано сучасні методи та засоби вимірювання параметрів дроту. Запропоновано новий підхід для вирішення проблеми вимірювання одночасно двох параметрів дроту під час виготовлення – теплового випромінювання та діаметру. Проаналізовано формування оптичного зображення об'єкта контролю. Розроблено принципову схему та складено стенд-імітатор волочіння дроту.

Ключові слова: *телевізійна пірометрія, телевізійні інформаційно-вимірювальні системи, контроль, волочіння дроту, дріт, теплове випромінювання, діаметр дроту.*

N.N. ZASHCHEPKINA, A.S. TOMASHUK, A.V. FEDORENKO
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

USING METHODSAND DEVICES OF TELEVISION INFORMATION MEASURING SYSTEMS FOR MEASURING PARAMETERS OF WIRE IN THE MANUFACTURING PROCESS

The aim of the research – improving manufacturing wire control methodology. Modern methods and means of measuring the parameters of the wire were analyzed. A new approach to solve the problem of measuring simultaneously the two parameters in the production of wire – thermal radiation and diameter, was proposed. Formation of an optical image of the object controls was analyzed. The concept and stand-simulator wire drawing were developed. The possibility of the application of methods and devices of television information-measuring systems for monitoring the manufacture of wire. The new control method allows an effective control of two parameters of wire at the same time.

Keywords: imaging pyrometer, television information-measuring systems, control, wire drawing, wire, thermal radiation, diameter of the wire.

Вступ

Під час виготовлення дроту методом волочіння виникає маса похибок, обумовлених недотриманням технології виготовлення продукції або виходом з робочого стану деяких елементів обладнання, що призводить до зниження якості дроту. Підвищення якості продукції неможливе без істотного вдосконалення методів та засобів контролю.

В ході виготовлення дроту головним завданням є дотримання заданого значення його діаметра. На якість впливає температурний режим на виході з філь'єр волочіння. Необхідний температурний режим забезпечується підтримкою температури розплаву, що не виключає можливості його порушення саме на етапі формування дротини.

Постановка завдання

На сьогодні, практично не існує такого методу контролю, який дозволяє одночасно проводити вимірювання двох параметрів – діаметра дроту і його температурної карти, в процесі виготовлення при волочінні.

У цьому плані перспективним є застосування телевізійних інформаційно-вимірювальних систем (ТІВС), які дають можливість проводити аналіз оптичних полів різного походження в безлічі точок в реальному масштабі часу з високим просторовим розрізненням [1].

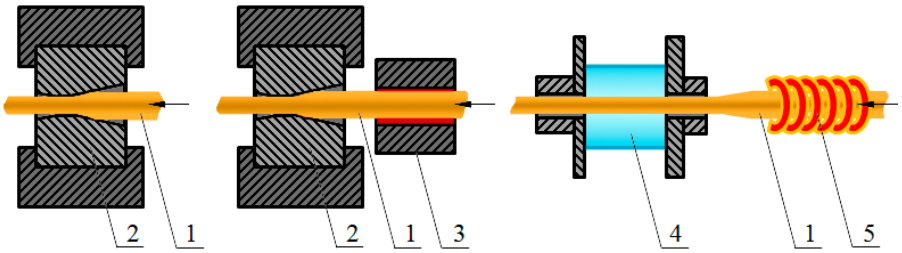
Тому, для вирішення проблеми одночасного контролю обох параметрів дроту було запропоновано використати методи ТІВС.

Задачею даної роботи є аналіз попередніх робіт з питань теорії волочіння дроту та вимірювань його параметрів, а також розробка принципової схеми стенда-імітатора волочіння дроту для оптичної системи ТІВС.

Аналіз стану проблеми

Волочіння дроту широко використовуваний процес на виробництві. Воно отримало широке поширення із-за того, що дозволяє поліпшити механічну міцність дроту, при різкому зменшенні діаметра за допомогою набору філь'єр.

Розрізняють холодне та гаряче волочіння. Холодне (рис. 1, а), при якому процес проходить при кімнатній температурі, і гаряче, при якому заготовку додатково піддають термічній обробці, дотримуючись певного температурного режиму в заданих межах часу для додання виробу необхідних властивостей, і протягуванні через волоку (ін. наз. «філь'єра») [2, 3]. Такий підхід гарячого волочіння припускається технологічним процесом виготовлення певних металів і сплавів виробу, якщо протягування через волоку при холодному волочінні проходить незадовільно. Однак більшість металів і сплавів піддаються волочінню в холодному стані. Існують традиційне (рис. 1, б) та безфіль'єрне (рис. 1, в) гаряче волочіння. На безфіль'єрне гаряче волочіння (з англ. «Dieless wire drawing»), на сьогодні, посилається більшість іноземних публікацій [4-8].



а) б) в)

Рис. 1. Три види волочіння,
де а – холодне волочіння, б – гаряче традиційне волочіння, в – безфіль'єрне гаряче волочіння;
1 – дріт, 2 – волока, 3 – нагрівальна камера, 4 – камера охолодження, 5 – індукційна котушка

Під час контакту виробу з філь'єрою виникає деформація першого, і як наслідок цього різке (пікове) підвищення його температури. На виході з отвору волочильного інструменту, минаючи вогнище деформації, температура виробу плавно падає. Значення температур в центральній частині виробу і на його поверхні різні.

Для того щоб процес волочіння проходив задовільно, середня температура виробу t_{cp} і температура контактної поверхні виробу з волокою $t_к$ не повинні перевищувати конкретних значень [3]. Значення будь-якої з цих температур істотно впливає на готовий продукт. Отже, для отримання виробу з високими пластичними властивостями його середня температура t_{cp} не повинна бути більше 220–270 °С. При перевищенні температури контактної поверхні виробу $t_к$ (понад 600-700 °С) з філь'єрою, відбувається утворення мартенситу на поверхні першого. Схема розподілу температур в осередку деформації показана на рис. 2 [9].

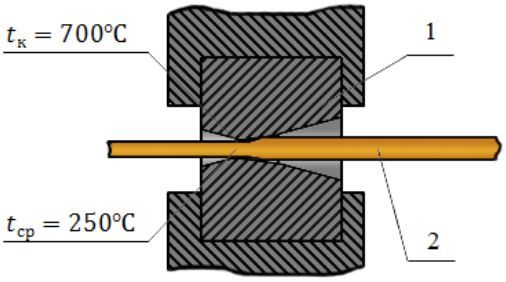


Рис. 2. Схема розподілу температур в осередку деформації, де 1 – волока, 2 – дріт

Типові випадки браку в процесі волочіння виробів з металів та сплавів протяжної форми [10]:

Невідповідність геометричних розмірів. Причиною цього є недотримання технологічного процесу, в тому числі недотримання температурного режиму, небажані домішки в матеріалі виробу та невідповідність волочильного інструменту.

Затяжка дроту. Характерне різне, в місцях випадкове, значення діаметру виробу. Причини як в попередньому пункті.

Ризики і подряпини на поверхні протягненого виробу. Причина в стані отвору волочильного інструменту.

Пленистість. Характерна наявність на поверхні виробу раковин і плен. Причиною цього є погана обробка, невідповідна шорсткість поверхонь валів.

Крихкість при вигині. Причиною цього є зайвий поверхневий натяг при прискореному русі внутрішніх шарів дроту порівняно з рухом зовнішніх шарів; вона обумовлена досить тупим кутом волочильного отвору, забрудненням отвору виробничим пилом, невірним відношенням швидкості волочіння в окремих волоках та зайвим тертям в волочильному отворі в наслідок недостатньої змазки. Схематично представлено на рис. 3 [2].

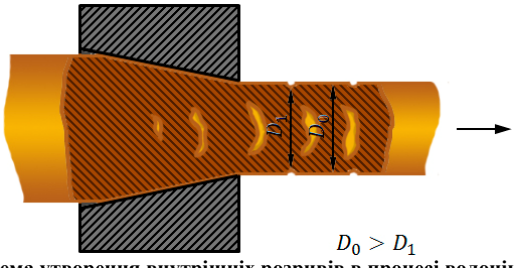


Рис. 3. Схема утворення внутрішніх розривів в процесі волочіння дроту

Процес волочіння, на даний час, глибоко досліджується науковцями як з теоретичної, так і з експериментальної точки зору. Луїс С. Дж., Леон Дж. і Лурі Р. у своїй роботі «Порівняння між методом кінцевого елементу і аналітичними методами для вивчення процесів волочіння дроту» провели широкий аналіз в рамках дослідження процесу волочіння, використовуючи подвійне змащення та охолодження волочильного інструменту [11]. Аллен П. Дж. і Фелан П. провели дослідження з використанням сполученої пошкодженої моделі у своїй роботі «Чисельний аналіз осесиметричного волочіння дроту за допомогою сполученої пошкодженої моделі» [12]. Бітков В. в роботі «Мінімізація перерв під час волочіння тонкого дроту з кольорових металів» запропонував провести дослідження по пошкодженим кольоровим металам [13]. Авторами Філісом Л., Амброджо Г. та Гьюрріеро Ф. була описана модель філь'єри при варіюванні кута напів-конуса і прикладеній на неї напрузі [14]. Дана модель запропонована на підставі прогнозу зношування філь'єри, витончення і пошкодження її матеріалу.

Роботи [15–18] присвячені дослідженню процесу волочіння дроту при вивченні його температурного поля.

Кобильською О. Л. в роботі [15] розглянута математична модель (ММ) теплового процесу, що відбувається в рухомому осесиметричному ізотропному середовищі з діючими імпульсними внутрішніми джерелами тепла, що породжуються дією електричного струму в зоні нагріву. Також досліджено температурний розподіл при електропластичному волочінні дроту. В роботі [16] авторами О. А. Троїцьким, В. І. Сташенко та ін. розглядається вплив електропластичного волочіння на пластичні властивості дроту, побудована ММ теплового поля у зоні дії імпульсного джерела тепла. В роботі [17] Хребтовим Е. О. проаналізовано способи нагріву дроту під час волочіння з метою збільшення його пластичності. Розрахунок параметрів нагріву виконано за побудованою ММ. В роботі [18] Е. Б. Кобильської, В. П. Ляшенко та Т. А. Григорова проведено порівняльний аналіз теплового розподілу й окремих значень температур дроту, зроблено висновки щодо точності опису теплового розподілу дроту під час процесу волочіння за використанням ММ, та використання ММ для контролю температури дроту діаметром менш 100 мкм в зоні підведення імпульсного або постійного струму.

В роботах [6–8] авторами П. Тернером, М. Т. Хіллері та Р. Керолан розглядається безфіль'єрне волочіння дроту. З результатів експериментальних досліджень випливає співвідношення параметрів процесу.

Контроль параметрів дроту описаний в роботах [4, 5]. Авторами Х. Йонгом, Л. Ксюіфенгом та ін. в роботі «Контроль випрямлення дроту та діаметру під час безфіль'єрного волочіння методом вимірювання деформації міжкадрового зміщення» досліджується вібрація дроту під час виходу з охолоджуючої системи після проходження через осередок деформації, також контролюється діаметр за допомогою камери з ПЗЗ (прилад із зарядовим зв'язком) матрицею [4]. Авторами С. Супріаді, Т. Фурушима та К. Манабі в роботі «Система контролю в реальному часі безфіль'єрного волочіння труби за допомогою обробки зображень» досліджується можливість проведення моніторингу одночасно двох параметрів труби – її температурного поля та діаметру [5].

Для вирішення безперервного контролю якості дроту під час виготовлення використовують методи контролю, засновані на реєстрації такого геометричного параметра як подовження дроту. Розглядається не поодинокий випадок на певній ділянці як в [19], при якому конструктивне вдосконалення пристрою волочіння дроту впливає на подорожчання обладнання.

В патенті [20] описується винахід, спосіб якого дозволяє проводити вимірювання температури гарячого розплавленого металу. Вимірювальним приладом виступає телевізійний пірометр, який формує зображення від теплового випромінювання.

Спосіб [20] представляє вдале вирішення проблеми контролю теплового випромінювання об'єктів тим, що телевізійний пірометр не потребує контакту з об'єктом контролю.

В патенті, автором якого є Пітєр Сейтз [21], описується телевізійний пірометр, в якому є три типи пікселів (L, S, V), для чутливого електромагнітного випромінювання в трьох різних спектральних діапазонах розташованих у мозаїчному вигляді. [21] описує можливість вимірювання одразу двох зображень сцени: температурну карту, засновану на методиці вимірювання пірометром двох довжин хвиль, а також з високою роздільною здатністю картину сцени у видимій частині спектру, що дає більш детальну інформацію щодо об'єкту контролю.

Формування оптичного зображення дроту на ПЗЗ-матриці ТІВС

Властивості центральної проекції дозволяють розглядати зображення об'єкта як його копію зі зміненим розміром, в якій зберігається інформація про об'єкт, і, отже, його параметри можуть бути обчислені шляхом перерахунку виміряних параметрів оптичного зображення [22]. Серед таких параметрів об'єкта, які можуть бути визначені по його оптичному зображенню, виділяють три групи: геометричні, енергетичні, колірні.

До геометричної групи параметрів об'єкта відносять лінійні розміри, площу та кутові розміри; до енергетичної – яскравість.

Геометричні параметри об'єкта визначають згідно законів геометричної оптики. На рис. 4 показано формування оптичного зображення об'єкта. В даному випадку в ролі об'єкта виступає дріт [23].

Виходячи із законів оптики, можна провести реєстрацію діаметра дроту, використовуючи формулу для визначення лінійного розміру [22, 23]:

$$D_{пров} = l_{об} = \frac{l_{из}}{M},$$

де M – лінійний масштаб зображення, і обчислюється за формулою

$$M = \frac{f'}{Z}.$$

Додатково, слід враховувати й інші фактори, пов'язані з оптичною системою пристрою, а також вібрацією дроту в процесі руху при виготовленні.

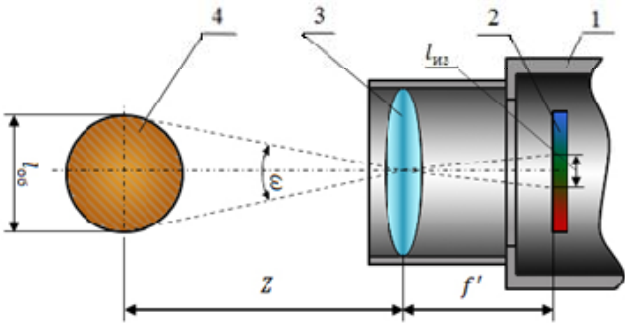


Рис. 4. Формування оптичного зображення об'єкта: 1 – телевізійна камера, 2 – ПЗС матриця, 3 – лінза, 4 – дріт в розрізі; і де $l_{об}$ – довжина діаметру дроту, *Z* – відстань від лінзи до об'єкта, f' – відстань від лінзи до ПЗС матриці телевізійної камери, $l_{из}$ – довжина зображення об'єкта, яка отримана на ПЗС матриці телевізійної камери, ω – кутовий розмір

Результати дослідження

Згідно поставленій задачі було розроблено принципову схему стенда-імітатора волочіння дроту, яка представлена на рис. 5.

Стенд складається з трьох вузлів. Перший відповідає за імітацію проходження дроту на пристрої волочіння. Дріт 3, в даному випадку, зв'язаний між собою обома кінцями, щоб представити цільну структуру. Він закріплений в пазах двох дисків 6, один з яких приєднаний за допомогою зубчатих коліс до двигуна постійного струму 9. Другий вузол відповідає за нагрівання дротини, що імітує підвищення температури дроту під час його проходження через філь'єру пристрою волочіння. Він складається з двох графітових стрижнів 5, які нагрівають дріт при збільшенні струму на блоці живлення 8, який з'єднаний з ними. Третій вузол відповідає за процес вимірювання. Він складається з телевізійної вимірювальної системи, яка включає в себе телевізійну камеру 1 та об'єктив телевізійної камери 2, та блоку контролю 4, в якому дріт 5 захищений від впливу зовнішнього випромінювання, такого, наприклад, як зовнішнє освітлення.

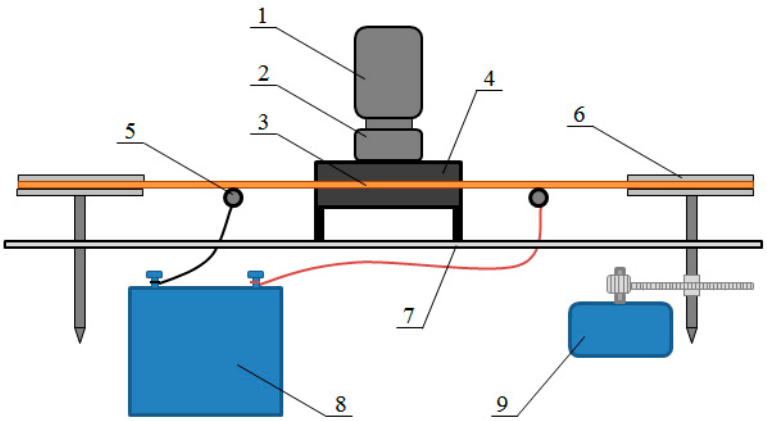


Рис. 5. Принципова схема стенда-імітатора волочіння дроту,
де 1 – телевізійна камера, 2 – об'єктив телевізійної камери, 3 – дріт, 4 – блок контролю, 5 – графітові стрижні, 6 – диски з пазами для дроту, 7 – стіл, 8 – блок живлення для нагрівання проволоки, 9 – двигун постійного струму

Процес вимірювання також передбачає використання програмного забезпечення (ПЗ) для отримання інформаційних даних від телевізійного пристрою.

На рис. 6 показаний стенд. На даному етапі замість блоку контролю були створені умови згідно яким зовнішнє випромінювання не діє на процес вимірювання, а саме сам стенд був поміщений у блок, який позбавлений такого випромінювання. Матеріал дроту – NiCr з середньою товщиною 0,5 мм.

Рис. 6. Стенд-імітатор волочіння дроту

На рис. 7, 8 показано перші інформативні результати. Телевізійний пристрій знімав теплове випромінювання дроту між двома графітовими стрижнями, що в даному випадку є імітацією «печі плавлення». Отриманий розподіл яскравості зображення дроту, знятого з відеосигналу за допомогою ПЗ, згідно освітленості пікселів в сірому фільтрі (монохромне зображення) представлено на рис. 8, за основу якого була обрана центральна лінія кадру з рис. 7.

З рисунку 8 випливає той факт, що значення діаметру дроту, який виготовляється, можна отримати за рахунок розподілу яскравості, так само як і знайти його температуру. Дослідження направлене на визначення температури та діаметру дроту буде розглянуто в наступних роботах.

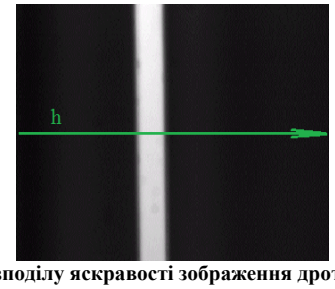


Рис. 7. Лінія розподілу яскравості зображення дроту з відеосигналу

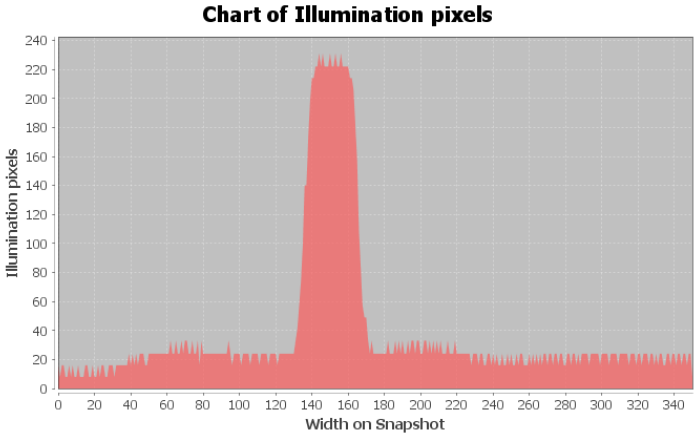


Рис. 8. Гістограма розподілу яскравості на отриманому зображенні дроту

Висновки

Запропоновано новий підхід до вирішення проблеми визначення одночасно двох параметрів дроту під час виготовлення – температури та діаметру. Було проаналізовано формування оптичного зображення об’єкта контролю. Розроблено та зібрано принципову схему та стенд-імітатор волочіння дроту. Згідно з результатами дослідження, нові роботи будуть направлені на вивчення оптичної системи телевізійного пристрою, реєстрацію діаметру дроту під час виготовлення, визначення його температури та побудову температурної карти.

Література

1. Порєв В. А. Телевізійна пірометрія / В. А. Порєв. – К. : АВЕРС, 2002. – 196 с.
2. Перлин И. Л. Теория волочения / Перлин Илья Львович. – Москва : Металлургия, 1971. – 448 с.
3. Красильщиков Р. Б. Нагрев при холодном волочении проволоки / Р. Б. Красильщиков. – Москва :

Металургиздат, 1962. – 88 с.

4. Yong H. Rectifying control of wire diameter during dieless drawing by a deformation measuring method of interframe displacement / H. Yong, L. Xuefeng [and oth.] // International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. – 2012. – Vol. 19 (7). – P. 615–621.

5. Supriadi S. Real-time process control system of dieless tube drawing with an image processing approach / S. Supriadi, T. Furushima, K. Manabe // Materials Transactions. – 2012. – Vol. 53 (5). – P. 862–869.

6. Tiernan P. An analysis of wire manufacture using the dieless drawing method / P. Tiernan, M. T. Hillery // Journal of Manufacturing Processes. – 2008. – Vol. 10. – P. 12–20.

7. Carolan R. Computer controlled system for dieless drawing of tool steel bar / R. Carolan, P. Tiernan // Journal of Materials Processing Technology. – 2009. – Vol. 209 (7). – P. 3335–3342.

8. Tiernan P. Experimental and numerical analysis of the deformation in mild steel wire during dieless drawing / P. Tiernan, M. T. Hillery // Journal of Materials Design and Applications. – 2002. – Vol. 216 (3). – P. 167–178.

9. Томашук О. С. Контроль температурного режиму при виготовленні дроту / О. С. Томашук, О. В. Суліма // Всеукраїнська наукова Інтернет-конференція «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 14)» : збірник тез доповідей (м. Тернопіль, 24-25 березня 2016 р.). – Тернопіль : Тайп, 2016. – Вип. 15. – С. 41–42.

10. Перлин И. Л. Волочение цветных металлов и сплавов / Перлин Илья Львович. – Москва : ОНТИ, 1934. – 323 с.

11. Luis C. J. Comparison between finite element method and analytical methods for studying wire drawing processes / C. J. Luis, J. Leon, R. Luri // J. Mat. Proc. Tech. – 2005. – 164–165. – P. 1218.

12. McAllen P. J. Numerical analysis of axisymmetric wire drawing by means of a coupled damage model / P. J. McAllen, P. Phelan // J. Mat. Proc. Tech. – 2007. – 183. – P. 210.

13. Bitkov V. V. Minimization of breaks during drawing thin wire of nonferrous metals / V. V. Bitkov // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2010. – 51. – P. 134.

14. Filice L. A multi-objective approach for wire-drawing process / L. Filice, G. Ambrogio, F. Guerriero // Procedia CIRP. – 2013. – 12. – P. 294–299.

15. Кобильська О. Б. Дослідження температурного поля дроту під час електропластичного волочіння / О. Б. Кобильська // Вісник Харківського національного університету. – Харків : ХНУ, 2013. – № 1058. – С. 43–49.

16. Кобыльская Е. Б. Исследование влияния термической составляющей на свойства проволоки при электропластическом волочении / Е. Б. Кобыльская, В. П. Ляшенко, Т. А. Григорова // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – 2011. – Вип. № 4 (69). – Ч. 1. – С. 57–62.

17. Троицкий О. А. Электропластическое волочение и новые технологии создания облегченных проводов / О. А. Троицкий, В. П. Ляшенко, Е. Б. Кобыльская [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. – 2011. – № 4. – С. 111–117.

18. Хребтов Е. О. Анализ способов нагрева проволоки совместно с процессом волочения / Е. О. Хребтов // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – 2015. – Вип. № 3 (92). – С. 91–97.

19. Пат. RU 2372612 C2 РФ, МПКG01N 25/16. Способ и устройство для непрерывного контроля качества проволоки из сплава с памятью формы / Дж. Сальваго, Л. Тоя. – № 2006142096/28 ; заявл. 28.04.2005 ; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 31.

20. Pat. EP 2554959 A1European patent application, Int Cl. G01J 5/00, G01J 5/10. Method and device for measuring the temperature of hot molten metal / C. L. A.Delicaat, V. B. Renee. – № 11006337.7 ; Date of filling: 02.08.2011 ; Date of publication: 06.02.2013, Bulletin 2013/06. – 8 p.

21. Pat. US 6,758,595 B2 USA, Int. Cl. G01K 3/00; G01K 13/00;G01] 5/00, U.S. Cl. 374/137; 374/121; 374/141. Imaging pyrometer / P. Seitz. – № 10/221,639 ; Date of filling: 07.05.2001 ; Date of publication: 06.06.2004. – 11 p.

22. Коротаев В. В. Телевизионные измерительные системы : учеб. пос. / Коротаев В. В., Краснящих А. В. – СПб : СПбГУ ИТМО, 2008. – 108 с.

23. Томашук О. С. Визначення геометричних параметрів протяжного об’єкта методами телевізійної пірометрії / О. С. Томашук, Т. О. Рудик // Всеукраїнська наукова Інтернет-конференція «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення» : збірник тез доповідей (м. Тернопіль, 24–25 березня 2016 р.). – Тернопіль : Тайп, 2016. – Випуск 14. – С. 39–40.

Рецензія/Peer review : 15.11.2016 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н. Здоренко В.Г.

УДК 53.093.08: 681.586.5

Л.О. КОВТУН, Д.М. МЕДЗАТИЙ
Хмельницький національний університет

НАДЛИШКОВИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ПАПЕРУ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ДВОКАНАЛЬНОГО ШИРОКОДІАПАЗОННОГО ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ЗАСОБУ

Стаття присвячена аналізу та опису надлишкового методу вимірювального контролю вологості паперу із автоматичною корекцією похибок у широкому діапазоні вимірюваних значень із використанням двоканального оптико-електронного засобу.

Ключові слова: *надлишковий метод, цифровий вимірювач, вологість паперу.*

L.O. KOVTUN, D.M. MEDZATYI
Khmelnytskyi National University

METHOD OF MEASURING EXCESS HUMIDITY CONTROL PAPER WITH WIDE-RANGE TWO-CHANNEL OPTO-ELECTRONIC DEVICE

This article analyzes and descriptions of surplus measurement control method of paper with automatic correction of errors in a wide range of values measured using dual-channel opto-electronic device. The method of the surplus measuring of paper humidity that consist in determination of value of paper humidity after implementation of 8 measuring times of voltage values have been offered, that contain information about humidity of paper standard with rationed by concentration value humidity and prospected paper. Determination of actual humidity value is made by equation of the surplus measuring, that is solving of the system of nonlinear size equations. As a result of the use of methods of the surplus measuring there is the automatic diminishing and even exception of systematic measuring errors. The use of the real function of transformation of measuring channel allowed expansion of the measuring range of paper humidity. Application of the method of the surplus measuring allowed getting a measuring result with proportional error to the recreation error of humidity concentration value of exemplary measure.

Keywords*: surplus method, digital meter, humidity paper.*

Вступ. Вимірювання вологості паперу є важливим параметром, оскільки вміст її навіть у невеликій кількості значно впливає на фізичні властивості – теплові, оптичні, механічні, електрофізичні та інші. Високоточному контролю вологості паперу приділяється велика увага з боку вчених та спеціалістів. Одним із перспективних напрямів безконтактного та завадостійкого вимірювального контролю є оптична вологометрія [1].

Перевагами існуючих автоматизованих методів вимірювального контролю є широкий діапазон вимірювання вологості паперу, швидкодія, можливість повної автоматизації процесу вимірювання. Недоліками існуючих методів є залежність результатів вимірювання від часової та температурної нестабільності параметрів функції перетворення (ФП) вимірювального каналу (ВК), вплив коефіцієнта розсіювання та коефіцієнтів поглинання води та целюлози на результат вимірювання, складність конструкції тощо.

У теперішній час поряд із прямими та непрямими методами стали використовувати й надлишкові методи вимірювального контролю із автоматичною корекцією похибок [2]. Підвищення точності вимірювання та вірогідності вимірювального контролю вологості паперу є й досі актуальної задачею [3].

Основна частина. Сутність та переваги оптико-електронного методу надлишкових вимірювань (НВ) вологості опишемо на прикладі роботи цифрового оптико-електронного засобу вимірювального контролю, функціональна схема якого наведена на рис. 1.

Запропонований оптико-електронний засіб містить: генератор оптичного випромінювання ГОВ, два волоконно-оптичні сенсори вологості, що включають в себе перші ОВ1 та другі ОВ2 оптичні волокна, що підводять потік ОВ до листового матеріалу, та перше ОВ3 і друге ОВ4 оптичні волокна, що відводять послаблений потік ОВ від матеріалу, мікроконтролер МК. Вимірювальний канал включає в себе послідовно з'єднані між собою фотоприймач ФПр, оптичні входи якого з'єднуються через отвір у обтюраторному диску ОД, що жорстко з'єднаний з синхродвигуном СДв, оптично з'єднаний з лінзою Л3. Також містить вибірковий підсилювач ВП, синхронний детектор СДр та аналого-цифровий перетворювач АЦП, виходи якого підключені до першого порту мікроконтролера МК.

У структурну схему засобу вимірювального контролю додатково введені перша Ш1 і друга Ш2, третя Ш3 і четверта Ш4 шторки, що жорстко з'єднані, відповідно, з другим ПКП2 і третім ПКП3 перетворювачами „код-переміщення", цифрові входи яких підключені до другого та третього портів мікроконтролера МК. Також запропонований засіб містить першу напівпрозору пластину НПП1, що жорстко з'єднана з першим ПКП1 перетворювачем „код-переміщення", вхід керування якого підключено до четвертого порту мікроконтролера МК, першу П1 та другу П2 трикутні призми, фокусуючі лінзи Л1 та Л2. Додатково введено другу НПП2 та третю НПП3 напівпрозорі пластини, третій та четвертий волоконно-оптичні сенсори. Вхідні торці передавальних оптичних волокон ОВ5 та ОВ6 третього та четвертого волоконно-оптичних сенсорів оптично з'єднані через другу НПП2 та третю НПП3 напівпрозорі пластини з вихідними торцями приймальних оптичних волокон першого та другого оптичних каналів відповідно.

Вихідні торці приймальних оптичних волокон ОВ7 та ОВ8 третього та четвертого волоконно-оптичних сенсорів, як і виходи другої НПП2 та третьої НПП3 напівпрозорих пластин, оптично з'єднані через відповідні шторки з першою Л1 та другою Л2 лінзами, виходи яких оптично з'єднані через дев'яте ОВ9 та десяте ОВ10 оптичні волокна, грані другої трикутної призми П2, третю фокусуючу лінзу Л3 та отвір у обтюраторному диску ОД з оптичним входом фотоприймача ФПр.

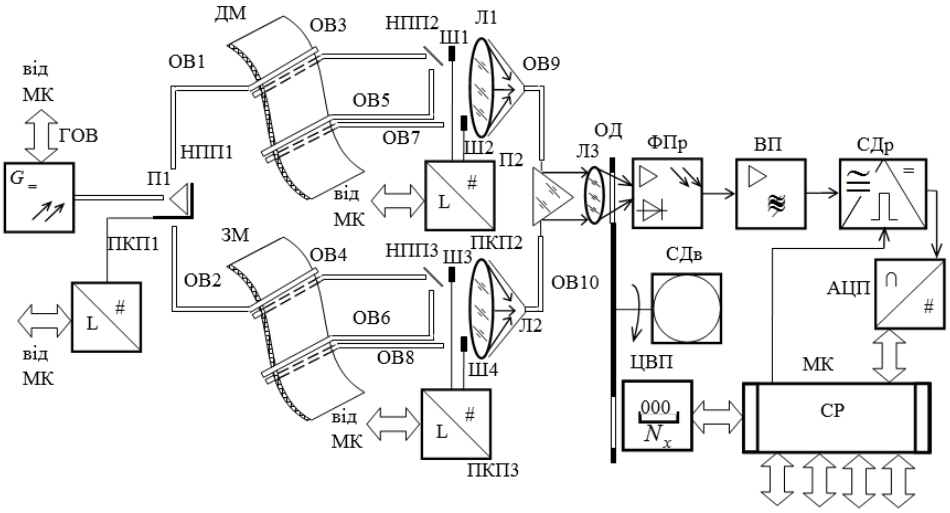


Рис. 1. Функціональна схема двоканального широкодіапазонного оптико-електронного засобу вимірювального контролю вологості паперу

Грані першої трикутної призми П1 оптично з'єднані через першу напівпрозору пластину НПП1 з виходом генератора оптичного випромінювання ГОВ та першими і другими торцями передавальних оптичних волокон ОВ1 та ОВ2 першого та другого волоконно-оптичних сенсорів відповідно. При цьому перша Ш1 і друга Ш2, третя Ш3 і четверта Ш4 шторки розташовані на оптичних осях, відповідно, між другою напівпрозорою пластиною НПП2 і торцем приймальних оптичних волокон ОВ7 третього оптичного каналу, третьою напівпрозорою пластиною НПП3 і торцем приймальних оптичних волокон ОВ8 четвертого оптичного каналу – з одного боку, і першою Л1 і другою Л2 фокусуючими лінзами – з другого боку.

В результаті попередніх досліджень було встановлено, що на відміну від лінійної ФП ВК, створення математичної моделі (ММ) з реальними (нелінійними) ФП ВК з ФПр на вході ВК, забезпечують розширення динамічного діапазону вимірювання концентрації листового матеріалу. Логарифмічна ФП ВК в цілому описується нелінійним рівнянням величин виду:

$$U_x = S'_н \ln\left(\Phi_\Sigma / \Phi_s\right) + \Delta U_{зм}, \tag{1}$$

де U_x – напруга, у яку перетворено послаблений потік оптичного випромінювання, $S'_н$ – реальна крутизна перетворення нелінійної складової ФП ВК, Φ_s – темновий потік, $\{\Phi_\Sigma\} = \{\Phi_s\} + \{\Phi_x\}$, $\Delta U_{зм}$ – напруга зміщення фотоприймача.

Враховуючи те, що поглинання потоку ОВ відбувається за законом Бугера-Ламберта-Бера, то (1) перепишеться наступним чином:

$$U_x = S'_н \ln\left(\left(\Phi_0 e^{-\left(\alpha_в C_x + \alpha_ц (C_\Sigma - C_x) + k_p\right) l_e} + \Phi_s\right) \Big/ \Phi_s\right) + \Delta U_{зм}, \tag{2}$$

де Φ_0 – нормований за значенням потужності потік оптичного випромінювання; $\alpha_в$ – показник поглинання вологи на довжині хвилі λ_0; $\alpha_ц$ – показник поглинання матеріалу на довжині хвилі λ_0; C_x – концентрація вологи, що контролюється; C_Σ – загальна концентрація; k_p — показник розсіювання; l_e — ефективна товщина матеріалу невідомої вологості.

Оскільки ФПр має логарифмічну ФП, то найбільшу цікавість представляють ММ, що описують методи НВ при логарифмічній ФП ВК, виду (рис. 2, рис. 3):

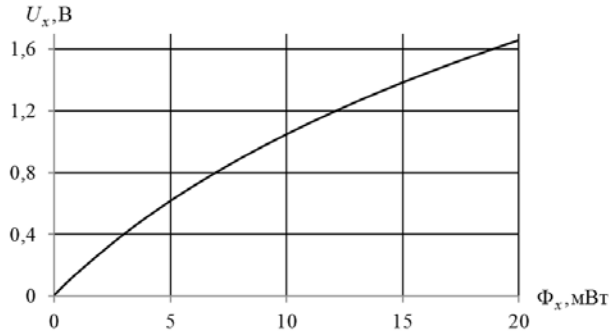


Рис. 2. Графік логарифмічної ФП ВК

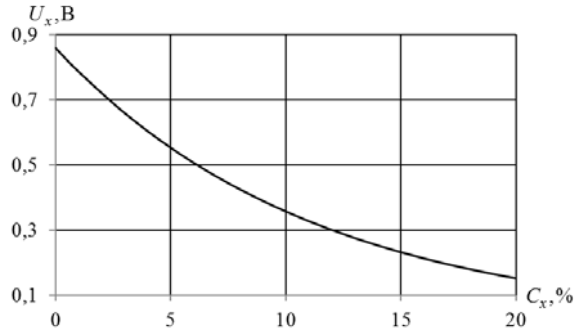


Рис. 3. Графік реальної ФП ВК

Використання логарифмічної ФП ВК забезпечує роботу ВК у всьому діапазоні вхідних сигналів ФПр і дає можливість створити приймач без перемикання діапазону вимірюваних значень концентрацій вологості матеріалу. Тому ММ методів, які використовуються при логарифмічній ФП ВК представляють найбільшу цікавість. Розглянемо більш детально одну з них. ММ складається із системи надлишкових рівнянь

$$\left.\begin{aligned}
&U_0 = S'_н \ln\left((\Phi_{00}+\Phi_S)/\Phi_S\right) + \Delta U_{зм};\\
&U_1 = S'_н \ln\left(\left(\Phi_0 e^{-(\alpha_в C_{01}+\alpha_ц(C_\Sigma - C_{01})+k_p)l_e} + \Phi_S\right)\Big/\Phi_S\right) + \Delta U_{зм};\\
&U'_1 = 2U_1 = S'_н \ln\left(\left(k_ф \Phi_0 e^{-(\alpha_в C_{01}+\alpha_ц(C_\Sigma - C_{01})+k_p)l_e} + \Phi_S\right)\Big/\Phi_S\right) + \Delta U_{зм};\\
&U_2 = S'_н \ln\left(\left(\Phi_0 e^{-(\alpha_в C_{01}+\alpha_ц(C_\Sigma - C_{01})+k_p)2l_e} + \Phi_S\right)\Big/\Phi_S\right) + \Delta U_{зм};\\
&U_3 = S'_н \ln\left(\left(\Phi_0 e^{-(\alpha_в C_{02}+\alpha_ц(C_\Sigma - C_{02})+k_p)l_e} + \Phi_S\right)\Big/\Phi_S\right) + \Delta U_{зм};\\
&U_4 = S'_н \ln\left(\left(\Phi_0 e^{-(\alpha_в C_{02}+\alpha_ц(C_\Sigma - C_{02})+k_p)2l_e} + \Phi_S\right)\Big/\Phi_S\right) + \Delta U_{зм};\\
&U_5 = S'_н \ln\left(\left(\Phi_0 e^{-(\alpha_в C_x+\alpha_ц(C_\Sigma - C_x)+k_p)l_e} + \Phi_S\right)\Big/\Phi_S\right) + \Delta U_{зм};\\
&U_6 = S'_н \ln\left(\left(\Phi_0 e^{-(\alpha_в C_{01}+\alpha_ц(C_\Sigma - C_{01})+k_p)2l_e} + \Phi_S\right)\Big/\Phi_S\right) + \Delta U_{зм},
\end{aligned}\right\} \quad (3)$$

та рівняння надлишкових вимірювань, яке є розв'язкам запропонованої системи.

$$C_x = C_{01} - (C_{01} - C_{02}) \frac{\ln\left(\left(\frac{k_1 - k_ф}{k_ф}\right)^{\frac{U_5 - U_0}{U_1 - U_0}}\right) + \ln\left(\left(\frac{k_1 - k_ф}{k_ф}\right)^{\frac{U_6 - U_0}{U_1 - U_0}}\right) - \ln\left(\left(\frac{k_1 - k_ф}{k_ф}\right)^{\frac{U_2 - U_0}{U_1 - U_0}}\right) - \ln\left(\frac{k_1 - k_ф}{k_ф} - k_2\right)}{\ln\left(\left(\frac{k_1 - k_ф}{k_ф}\right)^{\frac{U_3 - U_0}{U_1 - U_0}}\right) + \ln\left(\left(\frac{k_1 - k_ф}{k_ф}\right)^{\frac{U_4 - U_0}{U_1 - U_0}}\right) - \ln\left(\left(\frac{k_1 - k_ф}{k_ф}\right)^{\frac{U_2 - U_0}{U_1 - U_0}}\right) - \ln\left(\frac{k_1 - k_ф}{k_ф} - k_2\right)}, \quad (4)$$

де $k_1 = 1$, $k_2 = 2$.

Оптико-електронний засіб, який реалізує метод НВ за наведеною ММ, працює наступним чином.

Після ввімкнення джерела живлення усі функціональні блоки засобу встановлюються у вихідне положення. По команді з мікроконтролера МК на генератор оптичного випромінювання ГОВ подається сигнал, за яким формується потік ОВ заданої потужності, який розділяється прямокутною призмою П1. Потік через передавальне оптичне волокно ОВ2 подається на зразок листового матеріалу ЗМ із відомою за значенням концентрації C_0, який встановлено у другому оптичному каналі та через передавальне оптичне волокно ОВ1 на ДМ з невідомою за значенням концентрації C_x вологістю у першому оптичному каналі. За допомогою приймальних оптичних волокон ОВ3 та ОВ4 відповідно послаблені потоки поступають почергово на фокусуючі лінзи Л1 та Л2 відповідно, за допомогою яких вони фокусуються. Використання напівпрозорих пластин НПП2 та НПП3, які оптично з'єднані з вихідними торцями приймальних світловодів першого та другого сенсорів відповідно, дозволяє пропустити повторно крізь матеріали послаблені потоки оптичного випромінювання. Отримані потоки за допомогою передавальних оптичних волокон ОВ5 та ОВ6 підводяться до зразка матеріалу ЗМ з нормованою за значенням концентрації C_0 вологістю та до ДМ з

невідомою за значенням концентрації C_x вологістю відповідно. За допомогою приймальних оптичних волокон ОВ7 та ОВ8 четвертого та третього оптичних сенсорів, відводяться до фокусуючих лінз Л1 та Л2 відповідно, за допомогою яких фокусуються. По команді з мікроконтролера МК послаблені потоки ОВ відокремлюються один від одного за допомогою непрозорих шторок Ш1, Ш2, Ш3, Ш4, які жорстко з'єднані із перетворювачами «код-переміщення» ПКП2 та ПКП3 і закриваються або відкриваються сигналом з мікроконтролера МК. По черзі на фотоприймач ФПр потрапляють послаблені потоки ОВ, які перед цим промодульовані модулятором, який містить обтюраторний диск ОД, який жорстко закріплений із синхродвигуном СДв, у результаті чого формуються імпульси з певною частотою, значення якої задається сигналом з мікроконтролера МК. Почергово прийняті фотоприймачем ФПр потоки потрапляють на вибірковий підсилювач ВП, за допомогою якого потоки підсилюються і далі потрапляють на синхронний детектор СДр з фільтром нижніх частот. За допомогою аналого-цифрового перетворювача АЦП отримуємо кодову комбінацію, яка у мікроконтролері МК обробляється за рівнянням надлишкових вимірювань. Результат виводиться на дисплей цифрового відлікового пристрою ЦВП.

У першому такті на вхід генератора оптичного випромінювання ГОВ сигнал, за яким встановлюється певне значення потужності потоку ОВ Φ_0, не подається. На вхід фотоприймача ФПр потік ОВ не поступає. В результаті на виході ВК з'явиться напруга U_0 зміщення нуля ВК, яка за допомогою аналого-цифрового перетворювача АЦП перетворюється у код числа N_0, отримане значення вимірюється та запам'ятовується у пам'яті мікроконтролера МК. Значення напруги виводиться на цифровий вимірювальний пристрій ЦВП.

У другому такті по команді з мікроконтролера МК формують нормований за значенням потужності потоку ОВ Φ_0. Між передавальним ОВ1 та приймальним ОВ3 оптичними волокнами, та передавальними ОВ5 та приймальними ОВ7 оптичними волокнами першого оптичного каналу встановлюють зразок листового матеріалу з нормованою за значенням концентрації C_{01} вологістю і пропускають через нього сформований потік ОВ Φ_0. По команді з мікроконтролера МК на перетворювач «код-переміщення» ПКП3 шторки Ш3 та Ш4 встановлюються у стан, при якому на фотоприймач ФПр з другого оптичного каналу потік ОВ не поступає, а на перетворювач «код-переміщення» ПКП2 подається сигнал, за яким шторки Ш1 та Ш2 встановлюються у стан, при якому з виходу торців першого сенсора потік ОВ на вхід фотоприймача ФПр поступає, а з виходу торців третього сенсора – не поступає. В результаті на виході вимірювального каналу отримаємо напругу U_1, яка за допомогою аналого-цифрового перетворювача АЦП перетворюється у код числа N_1. Отримане значення вимірюється та запам'ятовується у пам'яті мікроконтролера МК.

У третьому такті по команді з мікроконтролера МК на генератор оптичного випромінювання ГОВ подається сигнал, за яким потужність потоку ОВ Φ_0 змінюється у $k_ф$ разів. Зміна потужності потоку ОВ відбувається до появи на виході ВК напруги, значення якої рівне $U'_1 = 2 \cdot U_1$. Значення коефіцієнта $k_ф$ вимірюється і запам'ятовується у пам'яті мікроконтролера МК.

У четвертому такті по команді з мікроконтролера МК на перетворювач «код-переміщення» ПКП2 шторки Ш1 та Ш2 змінюють своє положення на протилежне, тобто з виходу другого сенсора на фотоприймач ФПр потік ОВ не поступає, а з виходу четвертого сенсора – поступає. Шторки Ш3 та Ш4 лишаються у тому стані, що й попередньому такті, тобто з виходу другого оптичного каналу на фотоприймач ФПр потік ОВ не поступає. По команді з мікроконтролера відтворюється потік ОВ Φ_0 і пропускається через встановлений у перший оптичний канал зразок листового матеріалу. Послаблений потік ОВ Φ'_0 з виходу першого оптичного сенсора відбивається від напівпрозорої пластини НПП2. Через передавальні ОВ5 оптичні волокна потік ОВ Φ'_0 підводиться повторно до зразка листового матеріалу із нормованою за значенням концентрації C_{01} вологістю. Приймальні оптичні волокна ОВ7 відводять додатково послаблений потік ОВ Φ''_0 до фокусуючої лінзи Л1. На вхід вимірювального каналу поступає додатково послаблений потік ОВ. В результаті на виході вимірювального каналу отримуємо напругу U_2, яка за допомогою аналого-цифрового перетворювача АЦП перетворюється у код числа N_2. Отримане значення напруги вимірюється та запам'ятовується у пам'яті мікроконтролера МК.

У п'ятому такті по команді з мікроконтролера МК напівпрозора пластина НПП1 встановлюється між генератором оптичного випромінювання ГОВ та прямокутною призмою П1. В результаті потужність потоку ОВ Φ_0 зменшиться у k разів і з'являється потік ОВ Φ_{01}. Проведення цієї дії відповідає зміні концентрації до значення C_{02}, яке визначається по початку вимірювального контролю. Шторки Ш1 та Ш2 встановлюються аналогічно тому, як були встановлені у другому такті, тобто з виходу першого сенсора на фотоприймач ФПр поступає потік ОВ, а третього – не поступає. Потік ОВ Φ_{01} пропускається через зразок матеріалу з нормованою за значенням концентрації C_{01} вологістю. В результаті на виході ВК з'являється напруга U_3, яка за допомогою аналого-цифрового перетворювача АЦП перетворюється у код числа N_3. Отримане значення вимірюється та запам'ятовується у пам'яті мікроконтролера МК.

У шостому такті послаблений потік ОВ Φ'_{01} відбитий від напівпрозорої пластини НПП2, знову пропускається через зразок матеріалу з нормованою за значенням концентрації C_{01} вологістю. Шторки Ш1 та Ш2 встановлюються аналогічно тому, як були встановлені у третьому такті, тобто з виходу першого сенсора на фотоприймач ФПр потік ОВ не поступає, а з виходу третього сенсора – поступає. В результаті на виході ВК з'являється напруга U_4, яка за допомогою аналого-цифрового перетворювача АЦП перетворюється у код числа N_4. Отримане значення вимірюється і запам'ятовується у пам'яті мікроконтролера МК.

У сьомому такті по команді з мікроконтролера напівпрозора пластина НПП1 встановлюється у стан, при якому відтворюється нормований за значенням потужності потік ОВ Φ_0. По команді з мікроконтролера МК на перетворювач «код-переміщення» шторки Ш1 та Ш2 встановлюються у стан, при якому на фотоприймач ФПр потік ОВ з другого оптичного каналу не поступає, на перетворювач «код-переміщення» ПКП3 подається сигнал, за яким шторки Ш3 та Ш4 встановлюються у стан, при якому з виходу другого сенсора на фотоприймач ФПр потік ОВ поступає, а з виходу четвертого сенсора – не поступає. Сформований потік ОВ Φ_0 пропускається через ДМ, який встановлено у другому оптичному каналі. В результаті на виході ВК з'являється напруга U_5, яка за допомогою аналого-цифрового перетворювача АЦП перетворюється у код числа N_5. Отримане значення вимірюється та запам'ятовується у пам'яті мікроконтролера МК.

У восьмому такті послаблений потік ОВ Φ'_0 відбитий від напівпрозорої пластини НПП3 через передавальне оптичне волокно ОВ6 підводиться до ДМ. Приймальні оптичні волокна ОВ8 відводять додатково послаблений потік ОВ Φ''_0 від ДМ. По команді з мікроконтролера МК на перетворювач «код-переміщення» ПКП3 шторки Ш3 та Ш4 встановлюються у стан, при якому з виходу другого сенсора на фотоприймач ФПр потік ОВ не поступає, а з виходу четвертого сенсора – поступає. В результаті на виході ВК отримують напругу U_6, яка за допомогою аналого-цифрового перетворювача перетворюється у код числа N_6. Отримане значення вимірюється та запам'ятовується у пам'яті мікроконтролера МК.

Отримані значення проміжних вимірювань N_0, N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, $\{k_ф\}$ обробляються згідно із рівнянням числових значень

$$N_{C_x} = \{C_{01}\} - (\{C_{01}\} - \{C_{02}\}) \frac{\ln\left(\left(\frac{k_1 - \{k_ф\}}{\{k_ф\}}\right)^{\frac{N_5 - N_0}{N_1 - N_0}} - k_1\right) + \ln\left(\left(\frac{k_1 - \{k_ф\}}{\{k_ф\}}\right)^{\frac{N_6 - N_0}{N_1 - N_0}} - k_1\right) - \ln\left(\left(\frac{k_1 - \{k_ф\}}{\{k_ф\}}\right)^{\frac{N_2 - N_0}{N_1 - N_0}} - k_1\right) - \ln\left(\left(\frac{k_1 - \{k_ф\}}{\{k_ф\}}\right) - k_2\right)}{\ln\left(\left(\frac{k_1 - \{k_ф\}}{\{k_ф\}}\right)^{\frac{N_3 - N_0}{N_1 - N_0}} - k_1\right) + \ln\left(\left(\frac{k_1 - \{k_ф\}}{\{k_ф\}}\right)^{\frac{N_4 - N_0}{N_1 - N_0}} - k_1\right) - \ln\left(\left(\frac{k_1 - \{k_ф\}}{\{k_ф\}}\right)^{\frac{N_2 - N_0}{N_1 - N_0}} - k_1\right) - \ln\left(\left(\frac{k_1 - \{k_ф\}}{\{k_ф\}}\right) - k_2\right)}. \quad (5)$$

Результуюче значення напруги висвітлюється на цифровому табло цифрового вимірювального пристрою ЦВП.

Отже, використовуючи запропонований засіб реалізовано метод вимірювального контролю при логарифмічній ФП ВК, згідно з яким вологість ДМ визначається за рівнянням НВ (4), яке використовується у якості рівняння числових величин (5).

Як вище було зазначено, рівняння вимірювального перетворення при логарифмічній ФП ВК записується у вигляді (2). Для приведення зміни вихідної напруги U_x в діапазон зміни вхідного сигналу АЦП необхідно значення цієї напруги підсилити в k_U разів вибірковим підсилювачем [4, 5]

$$U_{ADC} = k_U \cdot U_x = k_U \left(S'_н \ln\left(\left(\Phi_0 e^{-(\alpha_в C_x + \alpha_ц (C_\Sigma - C_x) + k_p) l_e} + \Phi_S \right) \Big/ \Phi_S \right) + \Delta U_{зм} \right). \quad (6)$$

В результаті аналого-цифрового перетворення за алгоритмом послідовного наближення чи порозрядного зрівноваження, отримаємо

$$N_{U_x} = \frac{U_{ADC}}{U_0} 2^n, \quad (7)$$

де n – розрядність регістра послідовного наближення, U_0 – значення опорної напруги.

Підставивши (6) та (7) отримаємо остаточне рівняння перетворення

$$N_{U_x} = k_U 2^n \frac{S'_н \ln\left(\left(\Phi_0 e^{-(\alpha_в C_x + \alpha_ц (C_\Sigma - C_x) + k_p) l_e} + \Phi_S \right) \Big/ \Phi_S \right) + \Delta U_{зм}}{U_0}. \quad (8)$$

Похибка квантування цього засобу оцінюється наступним чином:

$$\delta_k = \frac{1}{N}\cdot 100\% = \frac{U_0}{k_U 2^n \left(S'_н \ln\left(\left(\Phi_0 e^{-\left(\alpha_в C_x + \alpha_ц (C_\Sigma - C_x) + k_p\right) l_e} + \Phi_S \right) \Big/ \Phi_S \right) + \Delta U_{зм} \right)} \cdot 100\% . \quad (9)$$

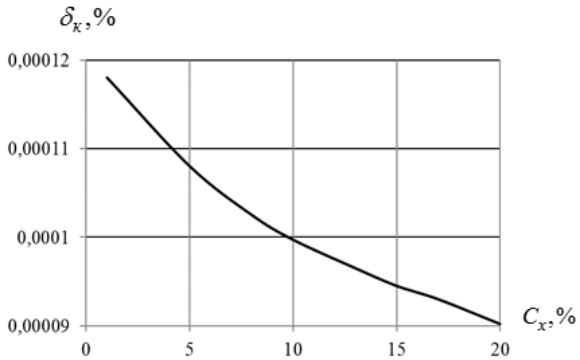


Рис. 4. Зміна похибки квантування в діапазоні контрольованої величини

Залежність зміни похибки квантування у діапазоні значень контрольованої величини наведена на рис. 4.

Провівши дослідження зміни похибки квантування при лінійній, квадратичній (у статті результати не наведено) та логарифмічній (рис. 4) ФП ВК у діапазоні зміни контрольованої величини $C_x = 1..20\%$, було вста-новлено, що вони усі мають нелінійний характер. Найбільша похибка квантування спостерігається при лінійній ФП ВК, найменша – при логарифмічній.

Висновки. Аналіз отриманого рівняння надлишкових вимірювань показав, що результат не залежить від абсолютного значення нормованого за значенням потужності потоку ОВ, показників поглинання води та листового матеріалу, показника розсіювання та абсолютного значення товщини матеріалу та їх відхилень у результаті дії дестабілізуючих факторів. Вплив зміщення логарифмічної функції перетворення вимірювального каналу (адитивна складова похибки) вилучається у результаті проведення додаткового такту вимірювань та операції віднімання. Вимірювання вологості досліджуваного матеріалу за допомогою представленого засобу вимірювального контролю також дозволяє вилучити й мультиплікативну складову похибки (проведення додаткових тактів вимірювання), забезпечити нечутливість методу до часової та температурної нестабільності параметрів функції перетворення вимірювального каналу за рахунок використання рівняння надлишкових вимірювань, що забезпечується за допомогою операції ділення. На результат впливає похибка встановлення $k_ф$.

Вимірювання вологості при логарифмічній функції перетворення вимірювального каналу дозволяє здійснювати вимірювальний контроль вологості листових матеріалів у широкому діапазоні значень, при використанні всього діапазону вхідних значень. Введення у засіб другого вимірювального каналу дозволяє зменшити час вимірювання при високій точності вимірювання. Використання мікроконтролера дозволило автоматизувати процес вимірювального контролю вологості листових матеріалів.

Література

1. Мухитдинов М. Оптические методы и устройства контроля влажности / М. Мухитдинов, Э.С. Мусаев. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 96 с.

2. Кондратов В.Т. Теория избыточных измерений / В.Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – № 1. – С. 7–24.

3. Богачук В.В. Методи та засоби вимірювального контролю вологості порошкоподібних матеріалів : монографія / В.В. Богачук, Б.І. Мокін. – Вінниця : Універсум, 2008.

4. Володарський Є.Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю : навчальний посібник / Є.Т. Володарський, В.В. Кухарчук, В.О. Поджаренко, Г.Б. Сердюк. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 219 с.

5. Разумный В.М. Оценка параметров автоматического контроля / В.М. Разумный. – М. : Энергия, 1975. – 80 с.

Рецензія/Peer review : 16.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Любчик В.Р.

УДК 004.04

С.В. КОСТІШИН
Вінницький національний технічний університет
М.В. БАЧИНСЬКИЙ, О.С. КОЗОРІЗ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
В. Е. КРИВОНОСОВ
Приазовський державний технічний університет

АВТОМАТИЗОВАНЕ РОБОЧЕ МІСЦЕ ОПЕРАТОРА ДЛЯ ОЦІНКИ ЙОГО ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ

В роботі розглядаються механізми підтримки прийняття рішень в АРМ оператора для оцінки стану зорового і слухового аналізаторів операторів. Визначається основна мета психокорекції ФС оператора. Представлено структурні схеми АРМ оператора для оцінки стану зорового і слухового аналізаторів операторів та механізму прийняття рішень лікарем.

Ключові слова: АРМ, система, функціональний стан, прийняття рішень.

S.V. KOSTISHYN
Vinnytsia National Technical University
M.V. BACHINSKIY, O.S. KOZORIZ
Ternopil National Technical University Ivan Pul'uj
V.E. KRIVONOSOV
Pryazovsky National Technical University

AUTOMATED WORKPLACE OPERATOR TO ITS EVALUATION OF FUNCTIONAL

This paper considers mechanisms for decision support operator ARM for the assessment of visual and auditory analyzers operators. Determine the main purpose of correction FS operator. The block scheme operator ARM for the assessment of visual and auditory analyzers operators and decision-making doctor. The basis of the rehabilitation process and correction FS operator according to practitioners, is the mechanism of the formation or development of new forms of adaptive mental activity. Reliability of the human operator depends not only on the level and duration of his training, the nervous system, and the ability and motivation to keep operator in the performance of professional duties. Most decisions, the authors say, is taken to impulsive level. Given the large number of equivalent in content and nature of definitions of the terms health and decision support subsystem determine those that best describe the subject area, which is ARM. Under the system of decision support we mean the man-machine interactive system that conceptually integrates algorithmic and heuristic methods for solving problems in professional neuroscience and is designed to relieve the uncertainty of the decision to a certain set of possible alternatives, provided the person who decides.

Keywords: ARM, system, functional status, decision.

В основі реабілітаційного процесу і психокорекції ФС оператора, на думку спеціалістів-практиків, лежить механізм формування або розвитку нових форм адаптивної психічної активності людини. Ця активність може відображуватись у новому сприйнятті подій, власного «Я», невивчених для даної людини формах поведінки або самовираження. Основною метою психокорекції є допомога оператору адаптуватися до умов життя, у випадку коли сам він , у силу різних обставин, з цим справитися не може. Це відбувається тільки при активізації внутрішніх природних сил людини. При цьому психолог не повинен та й не може примушувати оператора до дії. Він має лише вказати шлях, допомогти йому зрозуміти, як досягти згоди із самим собою та гармонії у відношеннях з власним оточенням.

Оператор, його особистість та її психіка – цілісні, і є невід'ємною часткою єдиної і цілісної природи, навколишнього світу. Разом з оточенням він складає взаємопов'язану, чітко організовану, складну систему різнопланової взаємодії фізичного, біологічного та духовного рівнів, систему, що має унікальну здатність до саморозвитку й самоорганізації. Виходячи з цього, для оператора надзвичайно важливо, щоб його уявлення про взаємозв'язок між предметами та явищами у внутрішньому та зовнішньому світі відповідали об'єктивній реальності. На цьому базується явище адаптації. Якщо ця відповідність порушується, то залежності від ступеня виникаючого дефекту розвивається дезадаптаційна реакція чи навіть психосоматичне захворювання, як наслідок гострої або хронічної психотравми. Людина втрачає можливість відповідно реагувати на психотравмуючу ситуацію, порушується гармонія взаємозв'язків.

Серед численних подій та явищ, які постійно відбуваються навколо нас і викликають у нас емоційну реакцію є такі, що дозволяють нам справлятися з їхнім вирішенням і не залишають ніякого сліду, крім елементу навчання.

Це досягається за допомогою засобів, комплексів і систем різного призначення, які можуть використовуватись як окремо для діагностики, стимуляції і реабілітації, так і мати комплексний характер, коли зазначені процеси поєднуються в одному апаратно-програмному комплексі. Саме за таким підходом і спроектовано автоматизоване робоче місце оператора для оцінки стану зорового, слухового аналізаторів і функціонального стану, в цілому, оператора при взаємодії його організму з низькоінтенсивним світловим випромінюванням.

На рис. 1 представлено структурну схему такого АРМ, який побудовано за модульним принципом і включає в себе модулі інтелектуальних стимулів, об'єктивного медичного контролю, USB-концентратор,

обробки і представлення даних. Останній представляє собою персональний комп'ютер, до апаратно-програмного забезпечення якого входять: центральний процесор; HDD; RAM; периферійне забезпечення; бази даних і знань; підсистема підтримки прийняття рішень; бази алгоритмів діагностичних, стимуляції і відновлення; програми реєстрації і вводу даних, обробки і представлення даних тощо.

Модуль об'єктивного медичного контролю включає стандартизовані функціонально завершені, автономні прилади з цифровим виходом: електрокардіограф, електроенцефалограф, спірограф, вимірювач артеріального тиску, вимірювач ШГР, комплекс психологічного тестування операторів, які через USB-концентратор підключені до персонального комп'ютера.

Ланцюг біологічного зворотного зв'язку (БЗЗ) складається з ПК, блоку управління стимуляторами і самих стимуляторів зорового та слухового аналізаторів.

Управління режимами роботи АРМ здійснюється за допомогою блоку управління і пульту управління (при застосуванні діагностично-стимуляційних окулярів).

Найбільший реабілітаційний ефект від занять у психотренінговому комплексі досягається за допомогою комплексного застосування різних методів і засобів психофізичої регуляції функціональних станів окремих аналізаторів та організму в цілому:

- психологічних засобів (аутотренінг, функціональна музика, кольорові і візуальні впливи);
- спеціальних комплексів дихальної, атлетичної та інших видів оздоровчої гімнастики з використанням найпростіших тренажерів;
- фізіотерапевтичних методів (електротранквілізація, аероіонізація повітря приміщень);
- фітотерапевтичних методів (коктейлі та чаї з лікарських трав і рослин).

Психофізичні методи впливу включають у себе застосування світломузичних програм та аутогенного тренування.

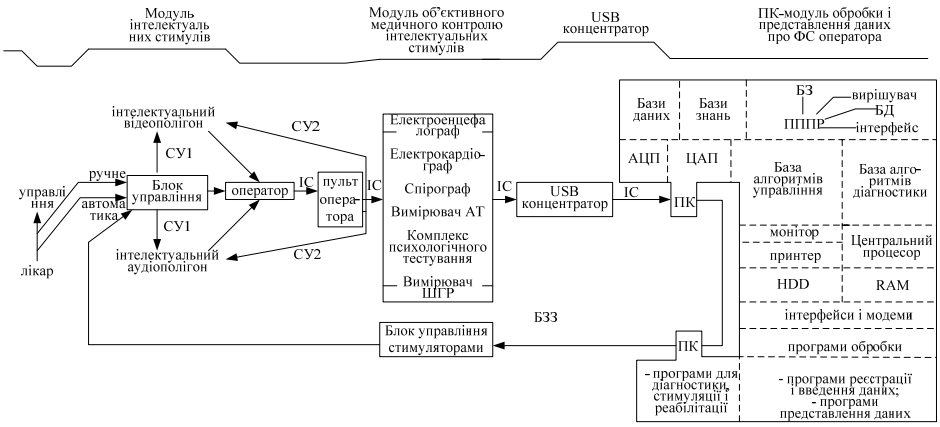


Рис. 1. Структурна схема АРМ оператора для оцінки стану зорового і слухового аналізаторів оператора: СУ1 і СУ2 – сигнали управління, відповідно з блоку і пульта управління; ІС – інформаційний сигнал; БЗЗ – сигнал біологічного зворотного зв'язку

Музичний вплив. Спеціально підібрані *музичні програми* є активно діючим компонентом психологічного розвантаження. Музичні образи полегшують процес зміни стану, сприяють формуванню стану аутогенного занурення в початковий період сеансу, а також виходу з нього в завершальній стадії. Музика повинна мати певний функціональний зміст, який залежить від сили, тембру звуку, мелодійності музичного твору. У залежності від цього прискорюються або сповільнюються серцеві скорочення, частота дихальних рухів, змінюються біоелектрична активність мозку, тонус м'язів, моторна активність, поліпшується пам'ять, підвищується швидкість прийому і переробки інформації [1]. Під впливом музики відбувається активізація відновлювальних процесів у фізіологічних системах, діяльність яких пригнічена стомленням. В якості *тонізуючої* рекомендується музична програма, що складається з бадьорих, мажорних творів, маршів, енергійних і веселих танцювальних ритмів.

Колірний вплив. Вплив музичних творів на функціональний стан операторів посилюється, якщо одночасно з цим здійснювати на них колірний вплив. Колірний спектр слід використовувати як засіб створення психофізіологічного комфорту, емоційно-естетичного впливу з урахуванням основних характеристик кольору: тону і чистоти (насиченості, яскравості). Необхідно віддавати перевагу таким поєднанням: зеленого і блакитного, які діють заспокійливо; червоного і жовтогарячого, які максимально активізують; синього і фіолетового, які діють нейтрально [1].

Аутогенне тренування. Аутогенне тренування (АТ) – один з ефективних способів відновлення працездатності і зняття нервово-емоційного напруження. Воно використовується також для згладжування проявів негативних якостей особистості (запальності, недовірливості, емоційної нестійкості); формування у тих, що тренуються, упевненості в своїх силах, підвищення психологічної стійкості в екстремальних ситуаціях; профілактики серцево-судинних, нервово-психічних, психосоматичних захворювань, усунення хворобливих симптомів. Аутогенне тренування ґрунтується на свідомому застосуванні комплексу прийомів психічної саморегуляції і простих фізичних вправ в поєднанні з формулами словесного самонавіювання. Прийоми аутотренінгу сприяють зниженню фізичної активності, м'язовому розслабленню, регуляції

дихання, призводять до релаксації організму людини. Разом з цим формується здатність до свідомого програмування і активації психофізіологічного стану [1].

Під час проведення аутогенного тренування використовуються *дихальні вправи.* Установлено, що фаза вдиху мобілізує організм, а фаза видиху заспокоює. Мобілізуюче дихання складається з розтягнутого вдиху, паузи на висоті вдиху і короткого та енергійного видиху. Заспокійливе складається з короткого, але енергійного вдиху, короткої паузи і розтягнутого подовженого видиху.

Мобілізуючий тип дихання сприяє подоланню сонливості, в'ялості, стомлення. Заспокійливий тип рекомендується використовувати для зняття психічного перенапруження після стресових ситуацій.

Для зняття емоційної напруженості і підтримки психофізичної готовності дій в екстремальних умовах використовується *оздоровча гімнастика з використанням тренажерів,* а для підсилення відновлювального ефекту рекомендується використовувати *фітотерапевтичні методики.*

Надійність роботи людини-оператора залежить не тільки від рівня його тривалості і підготовки, стану нервової системи, а і від здатності зберігати операторську мотивацію при виконанні професійних обов'язків. Особливістю предметної області оператора є те, що стимуляція його діяльності або реабілітації здійснюється практично без зміни структури всього процесу і дає можливість стверджувати, що низькоінтенсивна світлова стимуляція, виконуючи, з одного боку, позитивну функцію, з іншого, стає джерелом зовнішнього негативного впливу, перш за все, на центральну нервову систему, яка в свою чергу, є відповідальною за правильно прийняте рішення.

Таким чином, враховуючи, що стандартний підхід до побудови підсистеми підтримки прийняття рішень в даній ситуації є не зовсім доречним та ефективним, спробуємо побудувати такий механізм прийняття рішень, який був би на 100% адекватним ситуації, що виникла.

Основою такого механізму може стати модель процесу прийняття рішень, яка запропонована в [2] і у спрощеному вигляді показана на рис. 2 [2]:

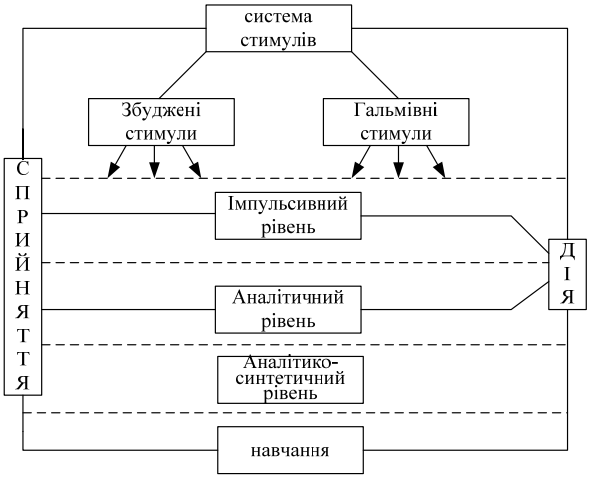


Рис. 2. Модель процесу прийняття рішень [2]

Більшість рішень, як вважають автори, приймається на імпульсивному рівні. Мислення при цьому розгортається як підсвідомий процес по найкоротшому шляху актів мислення з найменшими витратами і мінімальним часом [2]. При цьому, як видно з рис. 2, основою такої моделі є система стимулів, що враховуючи їх зміст і суть, обмежує можливості наведеної моделі.

Ми пропонуємо доповнити модель (рис. 2) ще одним рівнем, який назвали мотиваційний і який забезпечить прийняття правильного рішення в будь-яких умовах, в т. ч. й при дії низькоінтенсивної світлової стимуляції. Якщо порівняти терміни «стимул» і «мотив», то побачимо, що діями і вчинками оператора рухають саме «мотиви», а не «стимули». Стимули (зовнішні збудження) покликані тільки розбудити мотиви (внутрішні збудження) у оператора, тобто його бажання і наміри. І доти, доки стимул не перетвориться у внутрішнє бажання і намір (мотив) він не буде впливати на людину [7].

Це дає змогу навести формули ефективного мотивування і продуктивності роботи:

*Стимул*Потребу=Мотив*

Мотив+Умови для продуктивної роботи=Продуктивна робота,

які підтверджують, що мотив – це причина продуктивної роботи, наміри оператора працювати добре, а стимул – тільки той, що зустрічає потребу, мотивує [7].

При такому підході, рішення, що приймаються на всіх (уже чотирьох) рівнях, детермінуються різними внутрішніми і зовнішніми змінними стимулами; установкою на досягнення цілі; фізіологічними і психологічними відчуттями, мотиваційною відповідальністю, емоційним фоном, втомленістю, складністю ситуації, дефіцитом часу, інерційністю мислення тощо. Процес прийняття рішень буде здійснюватись, якщо

різниця між збудженими і гальмівними стимулами буде позитивною.

Враховуючи велику кількість рівнозначних за змістом і суттю визначень термінів «здоров'я» і «підсистема підтримки прийняття рішень», визначимо ті, що найбільше відповідають предметній області, в якій працює АРМ.

Під професійним здоров'ям будемо розуміти динамічний стан, який відображає ефективність адаптації оператора до умов діяльності і зумовлює її надійність [3]. Здоров'я може бути оцінено через сукупність клінічних, функціональних і соціальних характеристик, які є значимі для оптимальної відповідності індивідуальних якостей вимогам діяльності.

Під системою підтримки прийняття рішень будемо розуміти інтерактивну людино-машинну систему, яка концептуально об'єднує алгоритмічні та евристичні методи рішення слабоформалізованих задач в професійній психофізіології і призначена для зняття невизначеності процесу прийняття рішення до певної множини можливих альтернатив, що надаються особі, яка приймає рішення [3].

На рис. 3 представлено структурну схему механізму прийняття рішень оператором на мотиваційному рівні. Новизною даного механізму є блок трансформації моделей для ППР (БТМ ППР) і блок оцінки якості та ефективності прийнятого рішення (БОПР), причому вперше така оцінка здійснюється за участю чотирьох незалежних суб'єктів процесу: вихідних даних з вирішувача, експертів, ОПР (лікаря) і суб'єктивного відчуття оператора.

Блок висновків і рекомендацій (БВР), по аналогії з [4], пропонує систему заходів, що: рекомендує набір функціональних стратегій з вибором контрольних показників, їх граничних значень і контролює виконання рішень та генерує множину стратегічних траєкторій розвитку ситуацій і визначає статус ситуації, що виникла.

Запропонований механізм підтримки прийняття рішень готує мотиваційну базу для прийняття рішень по ефективній професійній діяльності.

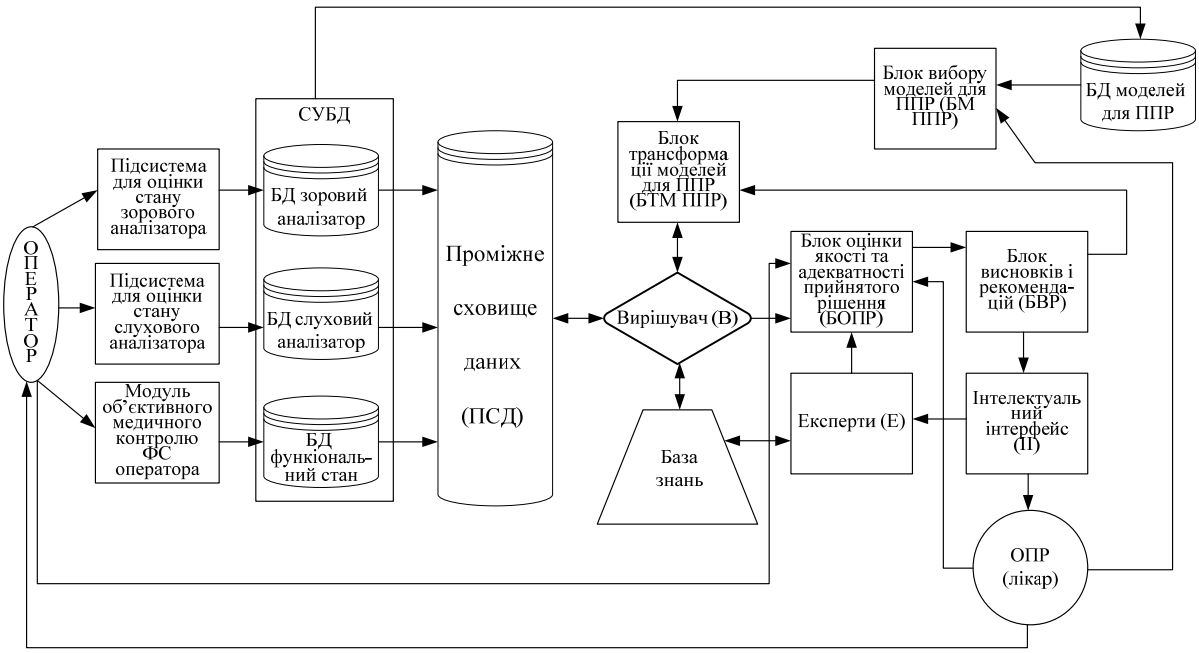


Рис. 3. Структурна схема механізму прийняття рішень лікарем (мотиваційний рівень)

Раніше уже відзначалося, що бази знань, рівно як і бази даних, є основними елементами будь-якої ПППР і відіграють важливу роль в їх функціонуванні. Створення БЗ відбувається поетапно і першим етапом є визначення предметної області, для якої, власне кажучи і будується та чи інша БЗ. Наступний етап – це етап придбання (отримання) знань, який передбачає процедуру взаємодії експерта та інженера по знаннях. Така процедура є досить довгою і складною, оскільки вимагає від інженера по знаннях уміння не тільки добре орієнтуватися в системному аналізі, математичній логіці, когнітивній психології, а і здатності побудувати модель предметної області, без якої ні експерти, ні підсистеми ППР не спроможні прийняти правильне рішення.

Етап структурування знань передбачає побудову ієрархії понять – глобальної схеми, що закладається в основу аналізу структури знань будь-якої предметної області [3, 4]. При цьому визначаються терміни, основні поняття та атрибути, відношення між атрибутами, стратегія прийняття рішень, взаємовідносини між вхідними і вихідними даними, обмеження на стратегії та альтернативи тощо.

Наступний етап – етап представлення знань, в результаті чого буде отримано систему взаємопов'язаних елементів, іншими словами, знання про предметну область.

Визначимо базу даних як сукупність елементів, організованих у відповідності до деяких правил, що

передбачають загальні принципи опису, збереження і маніпулювання даними незалежно від прикладних програм [3, 4]. Останні зв'язані з БД через СУБД, яка представляє собою систему програмного забезпечення, що містить в собі засоби обробки мовами БД і забезпечує її створення і цілісність, підтримує в робочу стані, дає можливість маніпулювати даними та обробляти запити до БД від прикладних програм або кінцевих користувачів. Тому в БД використовуються, як правило, дві мови – мова опису даних (МОД) і мова маніпулювання даними (ММД).

Після представлення знань, йде етап управління процесом пошуку рішення, тобто, визначення порядку доступу до знань та їх послідовності використання при пошуку рішення. Останні отримали назву мета знань. І, нарешті, етап роз'яснення прийняття рішення.

Важливою характеристикою, що оцінює ефективність роботи будь-якої СППР є показники її взаємовідносин з ОПР і користувачем, які визначаються відповідними способами взаємодії користувач і СППР в залежності від того, яким чином ОПР отримує інформацію від системи.

S.Alter [5] пропонує перелік режимів, які можливі при взаємодії ОПР і ПППР. Для підсистеми ППР, запропонованій в дисертаційній роботі найбільш характерні такі режими [5]:

- термінальний – ОПР працює безпосередньо з системою в режимі «on-line» (інтерактивний режим), сама формує запит до системи, отримує та інтерпретує відповіді і використовує їх в процесі прийняття рішень;
- відтермінований – ОПР працює з системою в режимі «off-line» (непрямого доступа). ОПР формує запити, які обробляються системою із використанням кодованих форм; в очікуванні відповіді ОПР може виконувати іншу роботу;
- посередник – ОПР використовує систему через посередників, які, отримавши запити, формалізують їх, виконують за допомогою системи аналіз проблеми, корегують та інтерпретують результати, які видає система.

При прийнятті остаточного рішення, ПППР враховує думки експертів, що входять до складу експертної системи, і як відмічає P. Keen [6], формулює три варіанти рішень:

а) незалежне рішення – ОПР несе повну відповідальність і має усю повноту влади для того, щоб прийняти остаточне рішення і забезпечити його реалізацію;

б) групове залежне рішення (консиліум) – рішення приймається в результаті розгляду та обговорення між ОПР, що пов'язані загальною залежністю;

в) поступово-послідовне залежне рішення – ОПР приймає тільки частину рішення, яке потім передається іншій ОПР.

Висновок: враховуючи, що стандартний підхід до побудови підсистеми підтримки прийняття рішень був не ефективним, було побудовано механізм прийняття рішень, який здатен приймати рішення на імпульсивному рівні. Мислення при цьому є підсвідомим процесом по найкоротшому шляху актів мислення з мінімальним часом. Було доповнено модель прийняття рішень мотиваційним рівнем який забезпечив прийняття правильного рішення в будь-яких умовах.

Література

1. Москвин С. В. Лазерная хромо и светометрия / С. В. Москвин, В. Г. Куреев. – М. : Тверь : Триада, 2017. – 95 с.

2. Науменко М. А. Особенности моделирования процесса применяемых управленчиских решений [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://vestnik.pstu.ru/get/_res/fs/file.pdf/1908

3. Чайкина Г. В. Системы поддержки принятия решений при оценке профессионального здоровья экипажей подводных лодок : автореф. дис. на соискание науч. степени к. т. н. : спец. 05.13.01 – управление в технических системах / Чайкина Г. В. – Москва, 1998. – 28 с.

4. Крошилин А. В. Проектирование подсистем поддержки принятия решений, для оценки состояния здоровья пациентов в условиях неопределенности / А. В. Крошилин, С. В. Крошилина, А. Н. Пылькин // Интелектуальные системы. – 2010. – № 4 (26). – С. 82–94.

5. Alter S. L. Decision support systems: current practice and continuing challenges. Reading Mass.: Addison-Wesley Pub. 1980

6. Keen P. G. W. Decision support systems: The next deccdes // Decision Support Systems, 1987. – v. 3. – pp. 253–265.

7. Мотив vs. Стимул – Технологии правильного выбора [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://sitegoogle.com/site/optimechoice/motiv_vs_stimul

Рецензія/Peer review : 14.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кичак В.М.

УДК 004.383.3

Б.Б. КРУЛІКОВСЬКИЙ
Національний університет водного господарства та природокористування
А.І. СИДОР
Тернопільський національний економічний університет

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ХЕММІНГОВОЇ ВІДДАЛІ У КОДАХ МУЛЬТИБАЗИСНИХ ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

В роботі запропонована функціональна структура спецпроцесора визначення Хеммінгової віддалі між кодами представленими в унітарному теоретико-числовому базисі. Розраховані характеристики компонентів спепроцесора визначення Хеммінгової віддалі залежно від розрядності вхідних даних, які необхідно враховувати при розрахунку апаратної та часової складності. Розроблена теорія визначення Хеммінгової віддалі при кодуванні ознак об'єктів у системі залишкових класів, коли кожна ознака може мати різне число класифікаційних рівнів.

Ключові слова: Хеммінгова віддаль, спецпроцесор,система залишкових класів.

B.B. KRULIKOVSKYI
National University of Water and Environment, Rivne
A.I. SYDOR
Ternopil national economic university

METHODS OF HAMMING DISTANCE IN CODES MULTI BASE THEORETICAL AND NUMERICAL TRANSFORMATIONS

Development theory and improve methods of pattern recognition in Hamming coding space is multidimensional objects in its nodes and expand theoretical foundations by improving multidimensional data coding methods based on various theoretical and numerical basis. The paper presents the functional structure of special processor definition Hamming distance between codes presented in unitary theoretical and numerical basis. These characteristics determine the components special processors Hamming distance dependent bit input attributes to consider when hardware complexity and time. Improved theory and methods of various applied problems in determining Hamming distance codes multibasic-theoretic transformation that is actual scientific and technical problem in the field of modern IT technologies. Improved Hamming principles for determining the distance to various theoretical and numerical basis.

Keywords: Hamming distance, special processors, system of residual classes.

Вступ

Перспективним напрямком розвитку теорії та вдосконалення методів розпізнавання образів у Хеммінговому просторі (ХП) є кодування багатомірних об'єктів у його вузлах та розширення теоретичних засад шляхом вдосконалення методів кодування багатомірних даних на основі різних теоретико-числових базисів, наприклад коди поля Галуа.

Актуальною задачею при цьому є дослідження часової та апаратної складності спецпроцесорів, які реалізуються на обчислювальних компонентах при застосуванні різних кодових монобазисних теоретико-числових перетворень: Унітарного (U), Хаара (H), Радемахера (R) та Крестенсона (C), а також мультибазисних перетворень: U→R, R→C, H→C.

Відомі методи розпізнавання образів на основі різних метрик: Евклідової відстані між *i*-м і *j*-м об'єктами на основі визначення міри схожості та близькості об'єктів за всією сукупністю використовуваних ознак, метрики Мінковського, що фактично є сімейством метрик і включає в себе звичайну Евклідову відстань, манхеттенську відстань, яка є сумою модулів різниць відповідних ознак об'єктів, метрику «домінування», або Sup-метрику, достатньо важливішою є також, так звана відстань Махаланобіса, яка має достатньо специфічні властивості. У разі використання дихотомічних (що мають всього два значення) якісних ознак широко використовується зважена відстань Хеммінга [1].

Відомі методи вузькоспеціалізовані і не характеризуються універсальністю до різних образів. Кореляційні методи найбільш ефективні, але по визначенню ряду авторів вважаються низько швидкісними та апаратно-складними, оскільки передбачають складну попередню статистичну обробку образів, у тому числі, обчислення математичного сподівання, центрованих значень, дисперсії та автокореляційної функції. Відомі методи розпізнання в Хеммінговому просторі є недостатньо ефективні, коли використовуються для образів, які описуються бінарними векторами, а також не враховують можливість застосування різних аналітичних виразів взаємокореляційних функцій та можливостей кодування даних у різних ТЧБ.

Перспективним напрямком вдосконалення теорії та методів різних прикладних задач є визначення Хеммінгової віддалі у кодах мультибазисних теоретико-числових перетворень, що є актуальною науково-технічною задачею у галузі сучасних ІТ-технологій.

1. Реалізація оцінки Хеммінгової віддалі та функціональна структура спецпроцесора.

Найбільш широко застосованою на практиці оцінкою Хеммінгової віддалі є метрики бінарної різниці [2]:

$$d_{ii} = \sum_{i=1}^{n} e_i \left| x_i - y_i \right|, \tag{1}$$

де x_i, y_i кодовані атрибути масивів даних, які представляють об'єкти, що підлягають розпізнаванню згідно оцінки Хеммінгової віддалі. e_i ваговий коефіцієнт інформативності пари атрибутів образів що розпізнаються, $i \epsilon \overline{1,n}$ n число пар атрибутів у вузлі Хеммінгового простору (ХП). d_{ii} числова оцінка Хеммінгової віддалі представлена у кодах відповідного ТЧБ [3].

У виключній більшості реалізацій кодування даних та обчислення Хеммінгової віддалі d_{ii} виконується на універсальних процесорах у двійковій системі числення ТЧБ Радемахера

При невеликій розрядності бінарних кодів x_i та y_i виконання операції $|x_i - y_i|$ в унітарному ТЧБ реалізуються на основі операцій модульного додавання згідно структури виразів:

$$\begin{array}{lccccl} x_i & a_{n-1} & a_{n-2} & \dots\dots\dots & a_1 & a_0 & \\ & \oplus & \oplus & & \oplus & \oplus & \\ y_i & b_{n-1} & b_{n-2} & \dots\dots\dots & b_1 & b_0 & ;\quad a_i \oplus b_i = c. \\ \hline & c_{n-1} & c_{n-2} & \dots\dots\dots & c_1 & c_0 & = \sum_{i=0}^{n-1} (a_i \oplus b_i); e_i = 1 \end{array} \qquad (2)$$

При реалізації оцінки Хеммінгової віддалі незалежно від застосованого коду ТЧБ необхідне виконання наступних функцій:

Логічне порівняння атрибутів кодових представлень x_i та y_i;

Визначення суми, числа співпадінь значень атрибутів x_i та y_i;

Шифрування коду отриманої суми у відповідному ТЧБ.

Функціональна структура спецпроцесора, який реалізує процедуру визначення Хеммінгової віддалі згідно (2) представлена на рис. 1.

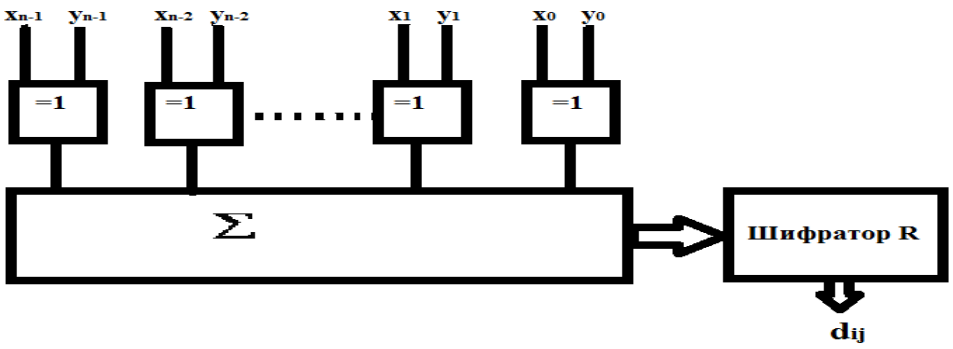


Рис. 1. Функціональна схема спецпроцесора визначення Хеммінгової віддалі в унітарному ТЧБ (U)

Компонентами такого спецпроцесора є елементи "Виключаюче АБО", суматор ∑, який перетворює унітарний число-імпульсний код у код Хаара (U→H) та шифратор, який перетворює код Хаара у двійковий код Радемахера (H→R).

Типовою структурою логічного елемента "Виключаюче АБО" є структура на базі п'яти логічних елементів показаних на рис. 2 [3].

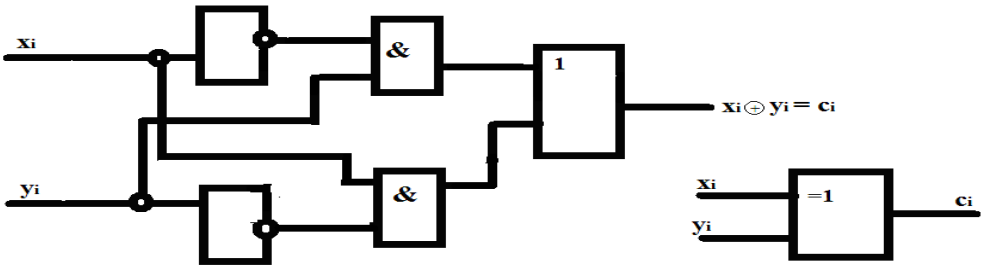


Рис. 2. Структура логічних елементів "Виключаюче АБО" з однофазними входами та виходом

Дана структура логічних елементів "Виключаюче АБО" не характеризується функціональною повнотою на входах і виходах. Внаслідок цього вона має низьку швидкодію 3 мікротакти затримки сигналів і значну апаратну складність 5 логічних елементів (ЛЕ), або металів V, які відповідають мікротактам.

На рисунку 3 приведені повнофункціональні елементи "Виключаюче АБО" з вхідними та

вихідними парафазними сигналами.

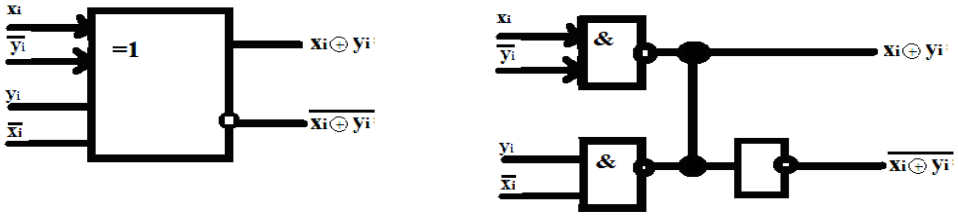


Рис. 3. Функціональне позначення та структура повнофункціональної реалізації логічного елемента "Виключне АБО"

Часова складність такого елемента на прямих виходах $\tau_{=1} = 1\upsilon$, на інверсних виходах $\overline{\tau}_{=1} = 2\upsilon$, а апаратна складність на прямих виходах $A_{=1} = 2V$, а на інверсних виходах $\overline{A_{=1}} = 3V$.

Таким чином в залежності від застосовуваної структури логічного елемента "Виключаюче АБО" затримка сигналів може складати від 1 до 3 мікротактів, а апаратна складність від 2 до 5 логічних елементів, що відповідно впливає на швидкодію спецпроцесора оцінки Хеммінгової віддалі.

Структура суматора, який виконує міжбазисне перетворення (U→H) приведено на рисунку 4 [4].

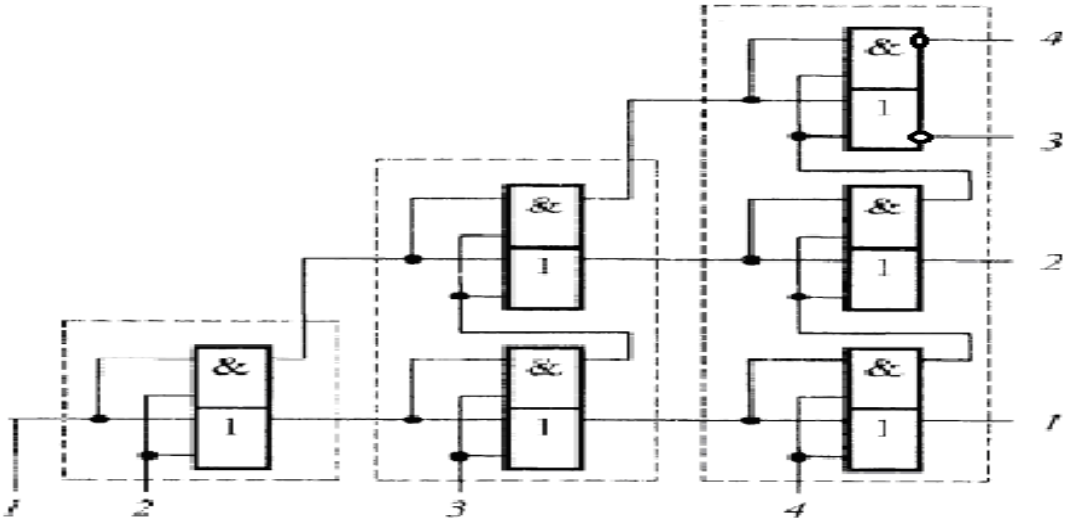


Рис. 4. Суматор Унітарно-Хаара міжбазисного перетворення

Оцінка часової складності такого суматора при заданому n рівна її розрядності U-коду $\tau_{\xi} = n\upsilon$, а апаратна складність $A_{\xi} = 3n$ V.

Структура шифратора, який перетворює коди Хаара у двійковий код, тобто реагує перетворення H→R) показана на рисунку 5.

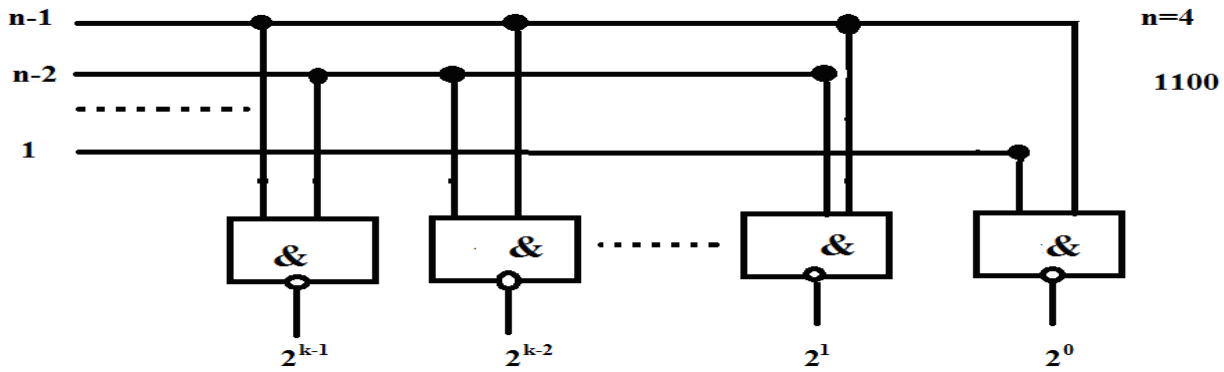


Рис. 5. Структура шифратора міжбазисного перетворення (H→R)

Часова складність такого шифратора на багатосходових логічних елементах І-НЕ $\tau_{ш} = 1\upsilon$, а

апаратна складність $A_ш = \log_2 n$ V.

Реалізація спецпроцесора оцінки Хеммінгової віддалі на основі представлення вхідних атрибутів x_i та y_i в унітарному ТЧБ, застосування однофазних логічних елементів "Виключаюче АБО", суматора (U→H) та шифратора (H→R) характеризується наступною часовою та апаратною складністю згідно виразів: $\tau_{HV} = \tau_{=1} + \tau_{\xi} + \tau_ш$; $A_{HV} = A_{=1} + A_{\xi} + A_ш$.

Дані характеристики спецпроцесора Хеммінгової віддалі залежні від розрядності вхідних атрибутів n представленні в таблиці 1 і таблиці 2, а їх відповідні графіки на рисунку 6 і рисунку 7 відповідно.

Таблиця 1

Часова складність реалізації спецпроцесора Хеммінгової віддалі

n	8	16	32	64	128	256	512
$\tau_{=1}$	8÷24	16÷48	32÷96	64÷192	128÷384	256÷768	512÷1536
τ_{ξ}	8	16	32	64	128	256	512
$\tau_ш$	1	1	1	1	1	1	1
τ_{HV}	17÷33	33÷65	65÷129	129÷257	257÷513	513÷1025	1025÷2049

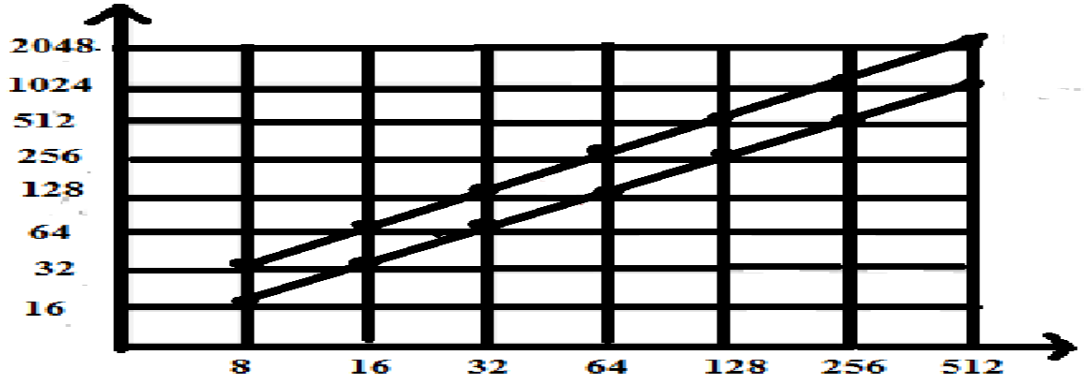


Рис. 6. Часова характеристики спецпроцесора Хеммінгової віддалі залежні від розрядності вхідних атрибутів n

Таблиця 2

Апаратна складність реалізації спецпроцесора Хеммінгової віддалі

n	8	16	32	64	128	256	512
$A_{=1}$	16÷40	32÷80	64÷160	128÷320	256÷640	512÷1280	1024÷2560
A_{ξ}	24	48	96	192	384	768	1536
$A_ш$	3	4	5	6	7	8	9
A_{HV}	43÷67	84÷132	165÷261	326÷518	647÷931	1288÷2056	2569÷4105

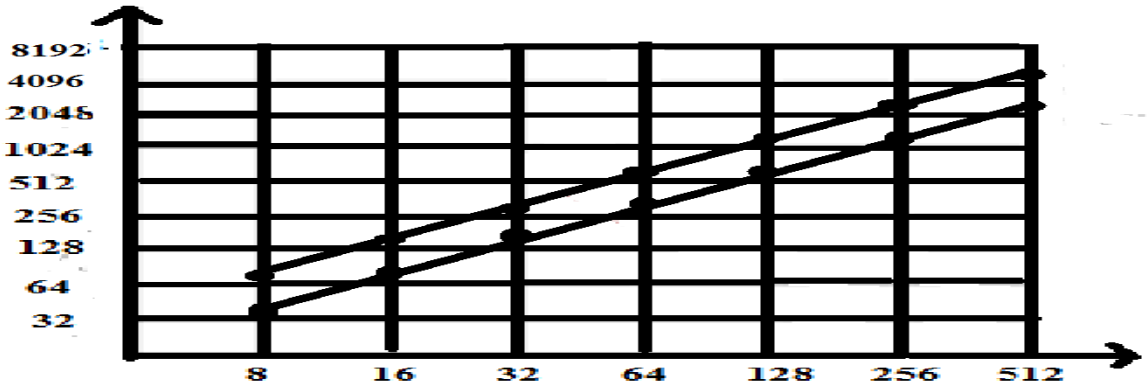


Рис. 7. Апаратна характеристики спецпроцесора Хеммінгової віддалі залежні від розрядності вхідних атрибутів n

Якщо значення a_i та b_i не є бінарні, а змінюються в діапазоні $0 \le a_i \le P_i - 1$; $0 \le b_i \le P_i - 1$ та задача визначення Хеммінгової віддалі значно ускладнюється, оскільки для кожного і-го значення a_i та

b_i необхідно виконувати бінарну операцію

$$\begin{array}{lcccccccc} a_i & = & d_{m-1} & d_{m-2} & \ldots\ldots & d_j & \ldots\ldots & d_1 & d_0 \\ & & \oplus & \oplus & & \oplus & & \oplus & \oplus \\ b_i & = & e_{m-1} & e_{m-2} & \ldots\ldots & e_j & \ldots\ldots & e_1 & e_0 \\ \hline U_i & = & U_{m-1} & U_{m-2} & \ldots\ldots & U_j & \ldots\ldots & U_1 & U_0 \end{array}$$

а для визначення кінцевого результату оцінки Хеммінгової віддалі необхідно застосувати P_i систему числення. Наприклад $0 \le a_i \le 9$ $0 \le b_i \le 9$ та застосування десяткової системи числення, для однозначного визначення суми Хеммінгової віддалі у кожному розряді повинен бути ваговий коефіцієнт 10^i .

$$\begin{array}{l} (m-1)d_{m-1} + \ldots\ldots + 100d_2 + 10d_1 + 1d_0 \\ \quad\oplus \qquad\qquad\qquad \oplus \qquad \oplus \qquad \oplus \\ (m-1)e_{m-1} + \ldots\ldots + 100e_2 + 10e_1 + 1e_0 = \sum_0^{m-1} e_i \cdot 10^i . \end{array}$$

У двійковій системі числення відповідно

$$\begin{array}{l} (m-1)d_{m-1} + \ldots\ldots + 4d_2 + 2d_1 + 1d_0 \\ \quad\oplus \qquad\qquad\qquad \oplus \qquad \oplus \qquad \oplus \\ (m-1)e_{m-1} + \ldots\ldots + 4e_2 + 2e_1 + 1e_0 = \sum_0^{m-1} e_i \cdot 2^i . \end{array}$$

Що відповідає кодуванню об'єктів x та y у $\log_{10} A$ та $\log_2 A$ розрядних кодах, де A – діапазон квантування станів об'єктів, що розпізнаються.

У випадку застосування унітарного ТЧБ з бінарними ознаками і наприклад m=16 в унітарному ТЧБ операція визначення Хеммінгової віддалі буде наступною:

$$\begin{array}{l} x = 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1 \\ \oplus\ \oplus\oplus\oplus\oplus\oplus\oplus\oplus\oplus\oplus\oplus\oplus\oplus\oplus\oplus\oplus\oplus \\ y = 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0 \\ \hline c\ \ (1+0+1+0+1+1+0+1+0+1+0+0+1+1+1+1) \end{array} = \sum_{i=1}^{15} c_i = 10 = d_{ii}$$

Структура спецпроцесора, який реалізує оцінку Хеммінгової віддалі в унітарному ТЧБ з представленням результатів у ТЧБ Радемахера подана на рис. 8.

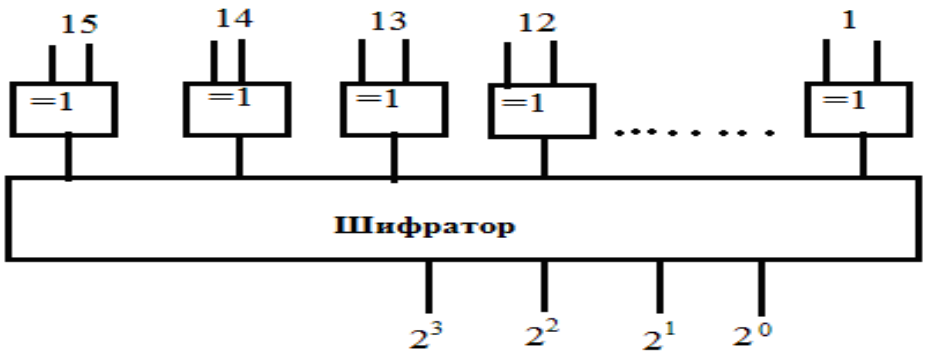
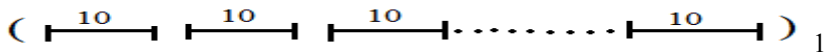


Рис. 8. Мультибазисний спецпроцесор визначення Хеммінгової віддалі при n=16

Спецпроцесор при $0 \le x \le P_i - 1$ $0 \le e \le P_i - 1$ тоді кодувати в унітарному ТЧБ неефективно.

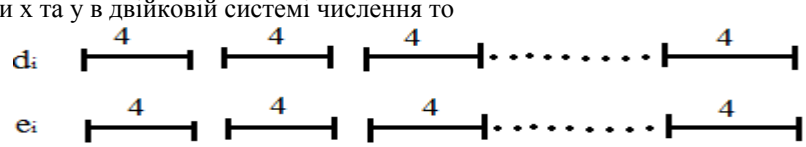
Наприклад є 10 – ознак об'єктів n=10 у кожному є m=10 – рівнів тоді в О-ТЧБ коді треба:



10*10=100 розрядів.

Але при такому кодуванні у величенні d_{ii} яка є сумою губиться інформація про які саме показники об'єктів x_i та y_i найбільш близькі або далекі.

Якщо кодувати x та y в двійковій системі числення то



Спецпроцесор буде мати 40 розрядів.

При цьому також не визначено, які розряди дають вагомі оцінки виходу в d_{ii} - Хеммінгову віддаль у базисі Крестенсона.

Висновки. Запропоновані функціональні структури спецпроцесорів визначення Хеммінгової віддалі між кодами представленими в унітарному теоретико-числовому базисі та базисі Радемахера. Розраховані характеристики компонентів такого спец процесора, які необхідно враховувати при апаратній та часовій складності. Вдосконалено принципи визначення Хеммінговох віддалі в різних теоретико-числових базисах.

Література

1. Круліковський Б.Б. Теоретичні основи розпізнавання багатомірних образів у Хеммінговому просторі. / Б.Б. Круліковський, А.І. Сидор, Я.М. Николайчук, О,М. Заставний // Вісник НЛТУ України. – Львів, 2016. – Вип. 26.3. – С. 361–367.

2. Николайчук Я. М. Коди поля Галуа: теорія та застосування : монографія / Я. М. Николайчук. – Т. : Тернограф, 2012. – 575 с.

3. Krulikovskyi B.B. The method to optimize struktural, hardware and time complexities characteristic multi-bit addres of spezial processors for data encryption / B. Krulikovskyi, N. Vozna, V. Kimak, A. Davletova // TCSET'2016. – Lviv Slavske, Ukraina, 2016. – P. 455–460.

4. Дрозд А.В. Специализованные архитектуры ЭВМ : учебное пособие / А.В. Дрозд, М.В. Лобачев, Ю.В. Дрозд. – Одесса, 2005. – 120 с.

Рецензія/Peer review : 15.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Николайчук Я.М.

УДК 681.3

Є.С. ЛЄНКОВ
Військовий інститут телекомунікацій і інформатизації

УЗАГАЛЬНЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ СКЛАДНОЇ ТЕХНІКИ

У статті запропонована узагальнена математична модель процесу технічного обслуговування і ремонту складної техніки, розглянуто фізичний зміст інтенсивностей переходів у цих процесах. Доведено, що узагальнений процес технічного обслуговування повинен бути синхронізованим з процесом відмов та близьким з ним за швидкістю.

Ключові слова: технічне обслуговування та ремонт, поточний ремонт, інтенсивність відмов.

E.S. LYENKOV
Military Institute of Telecommunications and Information

GENERALIZED MATHEMATICAL MODEL OF SERVICING AND MAINTENANCE OF COMPLEX TECHNIQUES

The article proposes a generalized mathematical model of servicing and maintenance of complex techniques, examines the physical meaning of intensities of transitions in these processes. The maintenance process needs to be synchronized with the process of failures, close to him in speed. Individual stages in fact is a kind of control actions aimed at compensation fleeting degradation processes, leading to failures. Planned repairs are control actions designed to compensate slow changes of the technical state of the object, due to the ageing and wear of the more reliable elements of the object. It is proved that a generalized process of servicing must be synchronized with the process of failures and the same high-speed process. A significant difference in the rate of maintenance processes and scheduled tasks allows you to distinguish them from the common process of technical maintenance and repair, research them individually and for them to develop independent models.

Keywords: servicing, repair, maintenance, intensity of failure.

Вступ та постановка задачі. Виходячи із високої собівартості складних технічних виробів і систем вкрай важливим є задачі удосконалення процесів технічного обслуговування і ремонту (ТОіР). Це необхідно як для забезпечення їх надійності так і для продовження ресурсу.

Зміст процесу ТОіР залежить від ступеня складності об'єкта, конструктивних особливостей і елементного складу, від наявності та ступеня розвиненості вбудованої системи технічної діагностики (СТД), від призначення об'єкта й режимів його застосування. Зміст процесу ТОіР визначається наступними головними його складовими:

- технічне обслуговування (ТО);
- ремонт (поточний і плановий);
- забезпечення ТО запасними елементами і приладами (ЗІП).

Ці та деякі інші поняття визначені в [1].

Технічне обслуговування – це “комплекс операцій або операція з підтримки справності або працездатності об’єкта при використанні його за призначенням, простої, зберіганні й транспортуванні”. Далі буде розглядатися тільки ТО при використанні за призначенням. Технічне обслуговування полягає в періодичній перевірці технічного стану об’єкта та заміні окремих його елементів, які знаходяться у передвідмовному стані. Технічне обслуговування проводиться при справному або працездатному стані об’єкта. Завдяки проведенню ТО відбувається “розрідження” потоку відмов об’єкта і за рахунок цього підвищується рівень його безвідмовності.

Ремонт – це “комплекс операцій з відновлення справності або працездатності об’єкта та відновлення ресурсу об’єкта або його складових частин”. Розрізняють поточний та планові ремонти.

Поточний ремонт (ПтР) призначений для відновлення працездатності об’єкта, проводиться у випадкові моменти часу, кожного разу при виникненні відмови об’єкта. При ПтР, як правило, проводиться заміна одного або декількох елементів, відмова яких призвела до відмови об’єкта радіоелектронної техніки.

Плановий ремонт (ПлР) призначений для поповнення ресурсу об’єкта, проводиться у заздалегідь заплановані моменти часу. При ПлР зазвичай проводиться заміна значної частини елементів об’єкта. Чим більша кількість замінних елементів, тим більша величина ресурсу, поповнюваного в результаті проведення планового ремонту.

Для здійснення ТОіР потрібна розробка необхідних методик, через визначення математичних моделей окремих подій та процедур.

Існують різні підходи до побудови моделей [2], для одного й того ж процесу можуть бути побудовані самі різні моделі, що відрізняються повнотою, точністю, ступенем адекватності тощо. В статті робиться спроба побудувати математичну модель, в якій були б представлені найбільш важливі складові процесу ТОіР складної техніки, оцінити можливості її практичної реалізації.

Мета розробки даної моделі полягає у встановленні математичної (алгоритмічної) залежності між показниками якості процесу ТОіР і його параметрами.

Для оцінки якості процесів ТОіР будемо використовувати такі показники:

T_0 – середній наробіток на відмову об’єкта;

$T_п$ – середній час простою в непрацездатному стані;

$K_г$ – коефіцієнт готовності;

$K_{ти}$ – коефіцієнт технічного використання;

$c_е$ – питома вартість експлуатації об’єкта.

Показники T_0, $T_п$, $K_г$ і $K_{ти}$ – це стандартні показники надійності об’єкта [1]. Показник $c_е$ є характеристикою середніх витрат вартості, які буде нести експлуатуюча організація в процесі експлуатації об’єкта.

Параметрами процесу ТОіР повинні бути характеристики надійності й вартості елементів об’єктів складної техніки (далі-об’єктів), числові та структурні показники, що характеризують можливості підсистем технічного обслуговування і ремонту. Поки що ці параметри вводяться в узагальненому вигляді (тому і модель, яка розробляється названа узагальненою). Для об’єктів введемо такі узагальнені параметри:

Б – параметри безвідмовності (включаючи параметри складу і структури);

В – параметри відновлюваності (ремонтопридатності);

С – параметри вартості.

Для кожної з виділених раніше підсистем системи ТОіР введемо “свої” узагальнені параметри:

$Р_{то}$ – параметри системи ТО;

$Р_{ро}$ і $Р_{пр}$ – параметри підсистем РО і планових ремонтів;

$Р_{зіп}$ – параметри системи забезпечення ЗІП.

Виклад основного результату. Проведений вище аналіз змісту процесу ТОіР показує, що в його основі лежить процес відмов-відновлень окремих об’єктів і переходів в ті чи інші стани, що визначаються різними складовими процесу технічного обслуговування і ремонту. З урахуванням цього в моделі процесу ТОіР будемо представляти наступні стани об’єкта [3]:

s_0 – об’єкт знаходиться в стані очікування;

s_1 – об’єкт виконує завдання відповідно за призначенням;

s_2 – проводиться ПтР об’єкта;

s_3 – проводиться ТО об’єкта;

s_4 – проводиться ПлР об’єкта.

Перераховані стани можна розглядати і як тимчасові стадії процесу ТОіР, в яких може перебувати об’єкт в ті чи інші моменти часу. Слід враховувати, що існують також й інші визначення станів, що пов’язані з властивостями надійності об’єкта [2], наприклад, “справний стан”, “працездатний стан” тощо.

Пізніше будуть широко використовуватися поняття “технічний стан” (ТС), як характеристика ступеня близькості об’єкта до стану відмови. Тому будуть кожного разу уточнюватися, що під цим розуміється. Введені вище стани $s \in \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4\}$ є станами *процесу ТОіР* об’єкта, які повинні

представлятися в моделі, що розробляється.

На рис. 1. зображений граф станів і переходів процесу ТОіР об'єкта. Переходи між станами відбуваються у випадкові або детерміновані моменти часу з інтенсивностями, залежними від параметрів об'єкта і підсистем технічного обслуговування і ремонту. Розглянемо більш детально фізичний зміст і можливе математичне представлення кожної з інтенсивностей переходів процесу технічного обслуговування і ремонту.

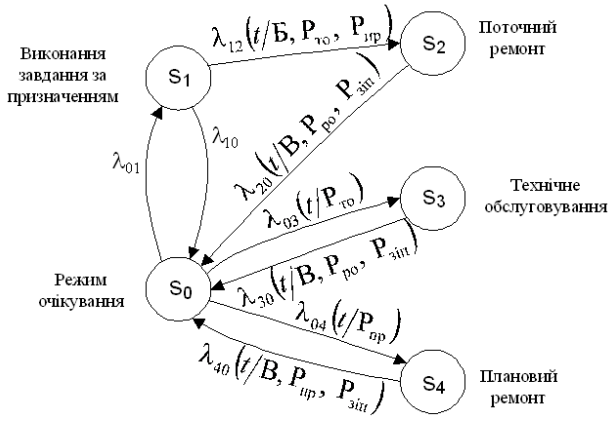


Рис. 1. Граф станів і переходів процесу технічного обслуговування і ремонту

Показники λ_{01} і λ_{10} – це інтенсивності вмикань і вимикань апаратури, які визначаються зовнішніми факторами, не пов'язаними з параметрами системи ТОіР. У загальному випадку можна припустити, що потік заявок на застосування об'єктів є найпростішим, а тривалість виконання завдань підпорядковується експоненціальному закону розподілу.

За визначенням інтенсивність деякої події $\lambda(t)$ пов'язана зі щільністю ймовірності цієї події $f(t)$ наступним співвідношенням:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}, \tag{1}$$

де $F(t)$ – функція розподілу, яка визначається через щільність ймовірності $f(t)$ наступною формулою:

$$F(t) = \int_0^t f(x)dx.$$

У випадку експоненціального розподілу $\lambda(t) = \lambda = 1/T$, де T – математичне сподівання часу настання події, що розглядається. З урахуванням цього інтенсивності λ_{40} і λ_{04} визначаються наступними простими виразами:

$$\lambda_{01} = 1/T_{\text{ож}}; \qquad \lambda_{10} = 1/T_{\text{зад}}, \tag{2}$$

де $T_{\text{ож}}$ і $T_{\text{зад}}$ – середня тривалість перебування об'єкта в стані очікування і в стані виконання завдання відповідно.

$\lambda_{12}(t/\text{Б}, \text{Р}_{\text{то}})$ – інтенсивність відмов об'єкта, що залежить від властивостей безвідмовності самого об'єкта Б і від параметрів системи ТО $\text{Р}_{\text{то}}$. З урахуванням (1) можна записати:

$$\lambda_{12}(t/\text{Б}, \text{Р}_{\text{то}}) = \frac{f_1(t/\text{Б}, \text{Р}_{\text{то}})}{1 - F_1(t/\text{Б}, \text{Р}_{\text{то}})}, \tag{3}$$

де $f_1(t/\text{Б}, \text{Р}_{\text{то}})$ – щільність ймовірності часу перебування об'єкта в стані s_1 (наробітку між відмовами об'єкта).

Закон розподілу наробітку між відмовами не є експоненціальним, тому в записі $\lambda_{12}(t/\text{Б}, \text{Р}_{\text{то}})$ зберігається залежність від часу (наробітку). Вплив параметра Б тут очевидно. Вплив параметра $\text{Р}_{\text{то}}$ полягає в тому, що за рахунок ТО підвищується рівень безвідмовності об'єкта (зменшується інтенсивність відмов). Слід підкреслити також, що інтенсивність $\lambda_{12}(t/\text{Б}, \text{Р}_{\text{то}})$ не є показником безвідмовності об'єкта в класичному сенсі (інтенсивність відмов відповідно до [1] є показником безвідмовності для невідновлювальних об'єктів, тобто об'єктів, що працюють до першої відмови). Тому якщо говорити строго, то інтенсивність $\lambda_{12}(t/\text{Б}, \text{Р}_{\text{то}})$ є інтенсивністю переходів $s_1 \to s_2$, що породжуються відмовами об'єкта;

$\lambda_{20}(t/\text{В}, \text{Р}_{\text{ро}}, \text{Р}_{\text{зип}})$ – інтенсивність відновлення об'єкта (інтенсивність подій завершення поточного ремонту). Після виконання ТР об'єкт переходить в стан очікування і в разі необхідності знову включається

для виконання завдання. Поточний ремонт проводиться силами і засобами розрахунку або (та) ремонтним органом. З урахуванням (1) буде дійсним:

$$\lambda_{20}(t/\mathrm{B},\mathrm{P}_{\text{ро}},\mathrm{P}_{\text{зіп}})=\frac{f_2(t/\mathrm{B},\mathrm{P}_{\text{ро}},\mathrm{P}_{\text{зіп}})}{1-F_2(t/\mathrm{B},\mathrm{P}_{\text{ро}},\mathrm{P}_{\text{зіп}})}, \quad (4)$$

де $f_2(t/\mathrm{B},\mathrm{P}_{\text{ро}},\mathrm{P}_{\text{зіп}})$ – щільність ймовірності часу відновлення об'єкта (часу простою в непрацездатному стані).

Випадковий час відновлення (час перебування в стані s_2) є сумою декількох випадкових складових (пошук причини відмови, доставка справного елемента із ЗІП, заміна елемента, що відмовив, діагностування стану об'єкта після планового ремонту). Тому закон розподілу часу відновлення істотно відрізняється від експоненціального. Наприклад, у [6] в якості закону розподілу часу відновлення використовується розподіл Ерланга.

$\lambda_{03}(t/\mathrm{P}_{\text{то}})$ – інтенсивність ТО об'єкта. Події переходу в стани ТО завжди плануються і тому моменти часу ТО, хоча і є у загальному випадку випадковими, мають невелику випадкову складову. Випадкова складова періодичності ТО виникає при застосуванні стратегій ТО за станом. Інтенсивність $\lambda_{03}(t/\mathrm{P}_{\text{то}})$ у загальному вигляді через відповідну щільність визначається наступним виразом:

$$\lambda_{03}(t/\mathrm{P}_{\text{то}})=\frac{f_{T_{\text{то}}}(t/\mathrm{P}_{\text{то}})}{1-F_{T_{\text{то}}}(t/\mathrm{P}_{\text{то}})}, \quad (5)$$

де $f_{T_{\text{то}}}(t/\mathrm{P}_{\text{то}})$ – щільність ймовірності періодичності проведення технічного обслуговування.

У випадку строго детермінованої періодичності ТО інтенсивність $\lambda_{03}(t/\mathrm{P}_{\text{то}})$ може бути визначена за допомогою дельта-функції:

$$\lambda_{03}(t/\mathrm{P}_{\text{то}})=\delta(t-kT_{\text{то}}),\ (k=1,2,\ldots),$$

де $T_{\text{то}}$ – детермінована періодичність проведення ТО; k – порядковий номер ТО у послідовності їх виконання; $\delta(x)$ – дельта-функція, яка визначається наступним чином:

$$\delta(x)=\begin{cases}+\infty, & x=0,\\ 0, & x\neq 0;\end{cases} \qquad \int_{-\infty}^{+\infty}\delta(x)dx=1.$$

Періодичність $T_{\text{то}}$ є одним із параметрів системи ТО ($T_{\text{то}}\in\mathrm{P}_{\text{то}}$).

$\lambda_{30}(t/\mathrm{B},\mathrm{P}_{\text{ро}},\mathrm{P}_{\text{зіп}})$ – інтенсивність подій завершення технічного обслуговування. За аналогією з (4) можна записати:

$$\lambda_{30}(t/\mathrm{B},\mathrm{P}_{\text{ро}},\mathrm{P}_{\text{зіп}})=\frac{f_3(t/\mathrm{B},\mathrm{P}_{\text{ро}},\mathrm{P}_{\text{зіп}})}{1-F_3(t/\mathrm{B},\mathrm{P}_{\text{ро}},\mathrm{P}_{\text{зіп}})}, \quad (6)$$

де $f_3(t/\mathrm{B},\mathrm{P}_{\text{ро}},\mathrm{P}_{\text{зіп}})$ – щільність ймовірності випадкової тривалості ТО.

$\lambda_{04}(t/\mathrm{P}_{\text{пр}})$ – інтенсивність ПР об'єкта. Моменти часу проведення ПР так само, як і моменти часу ТО, плануються, але планування це здійснюється на основі прогнозу часу настання "ресурсної відмови" об'єкта [2]. За аналогією з $\lambda_{03}(t/\mathrm{P}_{\text{то}})$ інтенсивність $\lambda_{04}(t/\mathrm{P}_{\text{пр}})$ може визначатися наступними виразами:

$$\lambda_{04}(t/\mathrm{P}_{\text{пр}})=\frac{f_{T_{\text{пр}}}(t/\mathrm{P}_{\text{пр}})}{1-F_{T_{\text{пр}}}(t/\mathrm{P}_{\text{пр}})}, \quad (7)$$

або

$$\lambda_{04}(t/\mathrm{P}_{\text{пр}})=\delta(t-kT_{\text{пр}})\ \ (k=1,2,\ldots),$$

де $f_{T_{\text{пр}}}(t/\mathrm{P}_{\text{пр}})$ – щільність ймовірності випадкової періодичності ПР; $T_{\text{пр}}$ – детерміноване значення періодичності ПлР (міжремонтний ресурс); k – порядковий номер планового ремонту.

$\lambda_{40}(t/\mathrm{B},\mathrm{P}_{\text{ро}},\mathrm{P}_{\text{зіп}})$ – інтенсивність подій завершення планового ремонту. За аналогією з (6) можна записати:

$$\lambda_{40}(t/\mathrm{B},\mathrm{P}_{\text{ро}},\mathrm{P}_{\text{зіп}})=\frac{f_4(t/\mathrm{B},\mathrm{P}_{\text{ро}},\mathrm{P}_{\text{зіп}})}{1-F_4(t/\mathrm{B},\mathrm{P}_{\text{ро}},\mathrm{P}_{\text{зіп}})}, \quad (8)$$

де $f_4(t/\mathrm{B},\mathrm{P}_{\text{ро}},\mathrm{P}_{\text{зіп}})$ – щільність ймовірності випадкового часу проведення планового ремонту.

Отже, розглянуто фізичний зміст всіх інтенсивностей переходів процесу ТОіР, представленого графом на рис. 1. Якби можливо було отримати аналітичні вирази для всіх цих інтенсивностей, тоді можна було б скласти наступну систему диференціальних рівнянь Колмогорова [6]:

$$dp_0(t)/dt = (\lambda_{10} - \lambda_{01})p_1(t) + \lambda_{20}(t/\text{В}, \text{Р}_{\text{ро}}, \text{Р}_{\text{зіп}})p_2(t) + \lambda_{30}(t/\text{В}, \text{Р}_{\text{ро}}, \text{Р}_{\text{зіп}})p_3(t) +$$
$$+ \lambda_{40}(t/\text{В}, \text{Р}_{\text{то}}, \text{Р}_{\text{зіп}}) - \lambda_{03}(t/\text{Р}_{\text{то}})p_3(t) - \lambda_{04}(t/\text{Р}_{\text{ро}})p_4(t);$$
$$dp_1(t)/dt = (\lambda_{01} - \lambda_{10})p_0(t) - \lambda_{12}(t/\text{Б}, \text{Р}_{\text{то}})p_2(t);$$
$$dp_2(t)/dt = \lambda_{12}(t/\text{Б}, \text{Р}_{\text{то}})p_1(t) - \lambda_{20}(t/\text{В}, \text{Р}_{\text{ро}}, \text{Р}_{\text{зіп}})p_0(t);$$
$$dp_3(t)/dt = [\lambda_{03}(t/\text{Б}, \text{Р}_{\text{то}}) - \lambda_{30}(t/\text{В}, \text{Р}_{\text{ро}}, \text{Р}_{\text{зіп}})]p_0(t);$$
$$dp_4(t)/dt = [\lambda_{04}(t/\text{Р}_{\text{ро}}) - \lambda_{40}(t/\text{В}, \text{Р}_{\text{ро}}, \text{Р}_{\text{зіп}})]p_0(t), \quad (9)$$

де $p_i(t)$ – це ймовірність того, що в момент часу t процес знаходиться в стані $\text{s}_i(t) \in \{\text{s}_0, \text{s}_1, \text{s}_2, \text{s}_3, \text{s}_4\}$.

Очевидно, що ймовірності $p_i(t)$ також повинні задовольняти умові $\sum_{i=0}^{4} p_i(t) = 1$.

Побудована нами система диференціальних рівнянь (9) являє собою узагальнену математичну модель процесу технічного обслуговування і ремонту. Розв'язком системи рівнянь (9) є вектор ймовірностей $\{p_i(t); i = \overline{0,4}\}$, в якому кожна з ймовірностей залежить від параметрів процесу ТОіР:

$$p_i(t) = p_i(t/\text{Б}, \text{В}, \text{Р}_{\text{то}}, \text{Р}_{\text{ро}}, \text{Р}_{\text{пр}}, \text{Р}_{\text{зіп}}).$$

Отримавши ймовірності $p_i(t)$, можна було б визначити частину показників якості процесу ТОіР, які нас цікавлять. Однак, все це лише теоретичні можливості, які, на жаль, не можуть бути реалізовані через низку причин.

Перша (головна) причина полягає в тому, що в (9) всі параметри функцій інтенсивностей переходів представлені в узагальненому вигляді та з урахуванням цього наразі взагалі не ясно, про які функції йдеться. Але якщо б ми і конкретизували всі параметри, то і в цьому випадку навряд чи ми змогли б отримати їх у явному вигляді, так як для цього потрібно було б для більшості з них побудувати «свої» моделі, складність яких можна порівняти зі складністю побудованої нами узагальненої моделі процесу технічного обслуговування і ремонту. Таким чином, практична корисність моделі (9) виявляється досить скромною. Корисність її полягає в тому, що з її допомогою можна продовжити змістовний аналіз процесів ТОіР на системному рівні і більш тонко проаналізувати існуючі зв'язки між окремими складовими процесу.

Друга причина обмеженої корисності моделі (9) полягає в тому, що всі інтенсивності в правих частинах рівнянь є функціями часу. Це не дозволяє систему диференціальних рівнянь звести до системи лінійних рівнянь з постійними коефіцієнтами, як це робилося в численних математичних моделях надійності складних систем, що розроблялися в 60–70-х роках минулого століття.

Істотним недоліком математичної моделі процесу ТОіР у вигляді диференціальних рівнянь (9) є також те, що в ній ніяк не представлені параметри вартісних витрат.

Проте, побудова моделі все ж є корисною, оскільки дозволяє уявити процес ТОіР як єдиний процес, оцінити, як пов'язані між собою його окремі складові. Зокрема, аналіз моделі (9) дозволяє виділити в процесі ТОіР дві основні "керуючі" складові (підпроцеси):

- процес ТО, що забезпечує необхідний рівень безвідмовності об'єктів;
- процес ПР, призначений для поповнення ресурсу об'єктів складної радіоелектронної техніки.

Обидві ці складові процесу мають одну природу, в їхній основі лежить один і той же механізм – превентивна заміна (оновлення) деякої частини елементів, стан яких наближається до стану відмови. Принципова відмінність між цими процесами полягає тільки в істотно різній швидкості їх перебігу. Проілюструвати це твердження можна за допомогою рис. 2. Функція $f_{T_{\text{то}}}(t/\text{Р}_{\text{то}})$ – це щільність ймовірності моментів часу переходів $\text{s}_0 \to \text{s}_3$ (щільність ймовірності подій технічного обслуговування). Функція $f_{T_{\text{пр}}}(t/\text{Р}_{\text{пр}})$ – щільність ймовірності моментів часу переходів $\text{s}_0 \to \text{s}_4$ (щільність ймовірності подій планового ремонту).

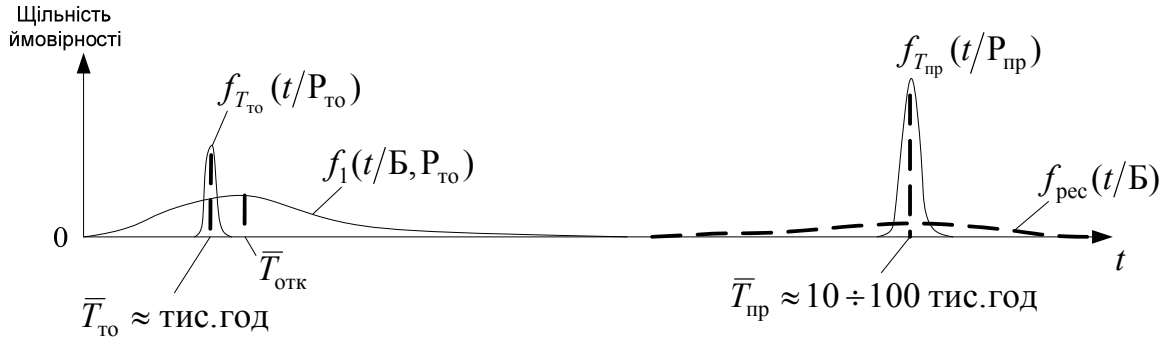


Рис. 2. Щільності ймовірності моментів часу переходу в стани відмови, ТО і ПР

Через $\overline{T}_{\text{то}}$, $\overline{T}_{\text{пр}}$ і $\overline{T}_{\text{отк}}$ позначені відповідні математичні очікування: $\overline{T}_{\text{то}}$ і $\overline{T}_{\text{пр}}$ – середня періодичність ТО і ПР відповідно; $\overline{T}_{\text{отк}}$ – середній наробіток між відмовами. Їхні значення через відповідні щільності визначаються наступним чином:

$$\overline{T}_{\text{то}} = \int_0^\infty t\, f_{T_{\text{то}}}(t/\text{Р}_{\text{то}})dt\,; \quad \overline{T}_{\text{пр}} = \int_0^\infty t\, f_{T_{\text{пр}}}(t/\text{Р}_{\text{пр}})dt\,; \quad \overline{T}_{\text{отк}} = \int_0^\infty t\, f_1(t/\text{Б},\text{Р}_{\text{то}})dt\,.$$

На рис. 2. пунктирною лінією показана гіпотетична функція щільності ймовірності наробітку до ресурсних відмов $f_{\text{рес}}(t/\text{Б}) \approx f_{T_{\text{пр}}}(t/\text{Р}_{\text{пр}})$. Гіпотетична тому, що ресурсні відмови насправді ніколи не наступають (точніше кажучи, не фіксуються), вони запобігають проведенням планових ремонтів. Саме поняття “ресурсна відмова”, по суті, є віртуальним поняттям, яке введено в основному для обґрунтування нормативів міжремонтного ресурсу.

Висновки. В статті представлено узагальнену математичну модель процесу технічного обслуговування і ремонту складної техніки. Процес ТО повинен бути синхронізованим з процесом відмов, близький з ним по швидкості. Окремі його етапи по суті є свого роду керуючими впливами, спрямованими на компенсацію швидкоплинних деградаційних процесів, що призводять до відмов. Планові ремонти є керуючими впливами, спрямованими на компенсацію повільних змін технічного стану об’єкта, зумовлених старінням і зносом більш надійних елементів об’єкта.

Істотна відмінність у швидкості процесів ТО і ПР дозволяє виділити їх із загального процесу ТОіР, досліджувати їх окремо і розробляти для них самостійні моделі.

Література

1. Богданович В.А. Теория устойчивого обнаружения, различения и оценивания сигналов / Богданович В.А., Вострецов А.Г. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 320 с.
2. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. – Введ. 1996–01–01. – 96 с.
3. Технология системного моделирования / Е. Ф. Аврамчук, А. А. Вавилов, С. В. Емельянов [и др.]. – М. : Машиностроение; Берлин : Техник, 1988. – 520 с.
4. Браун В. О. Математическая модель процесса технического обслуживания и ремонта сложных объектов радиоэлектронной техники / В. О. Браун, С. В. Ленков, А. В. Селюков [и др.] // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2013. – № 39. – С. 12–19.
5. Козлов Б. А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики / Б. А. Козлов, И. А. Ушаков. – М. : Советское радио, 1975. – 472 с.
6. Половко А. М. Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб : БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
7. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных производственных систем / Г. В. Дружинин. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.
8. Вентцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М. : Наука, 1988. – 480 с.

Рецензія/Peer review : 19.3.2017 р. Надрукована/Printed :20.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Мартинюк В.В.

УДК 528.7:628.9

Л.А. МИХЕЕНКО, М.К. НОВИЦКИЙ
Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИФФУЗНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОЙ ЯРКОСТИ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКИ-СОПРЯЖЕННЫХ ИНТЕГРИРУЮЩИХ СФЕР

Диффузные излучатели переменной яркости (ДИПЯ) на основе оптически-сопряженных интегрирующих сфер (ИС) имеют, по сравнению с традиционными излучателями, существенно лучше фотометрические и метрологические характеристики [1–3]. Однако проектирование таких систем встречает известные трудности, вызванные, с одной стороны, тем, что задача является многопараметрической, причем связь между параметрами ДИПЯ является сложной и часто косвенной, а с другой стороны, часть параметров излучателя (коэффициент яркости и спектральная характеристика покрытия ИС, расположение и размеры источников излучения, размеры апертурных диафрагм и ряд других) не имеют аналитического описания.

Ключевые слова: диффузные излучатели, интегрирующая сфера, фотометрия, метрология.

L.A. MIKHEENKO, M.K. NOVITSKY
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute”

OPTIMIZATION OF CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF A DIFFUSE EMITTER OF VARIABLE BRIGHTNESS BASED ON OPTICALLY CONJUGATE INTEGRATING SPHERES

Diffuse emitters of variable brightness based on optically conjugated integrating spheres (IS) have better photometric and metrological characteristics than traditional ones [1-3]. However, the design of such systems meets certain difficulties. Because the problem is multi-parametric and some of the parameters of the emitters (brightness factor, spectral characteristic of the covering of the IS, location and dimensions of radiation sources and others) have no analytical description.

Keywords: Diffuse emitter, integrating sphere, photometry, metrology.

Введение

Целью настоящей работы является разработка методов оптимизации конструктивных параметров ДИПЯ на основе оптически-сопряженных ИС с целью получения максимально возможной яркости выходной апертуры.

Яркость выходной апертуры ДИПЯ

Конструктивная схема ДИПЯ показана на рис. 1

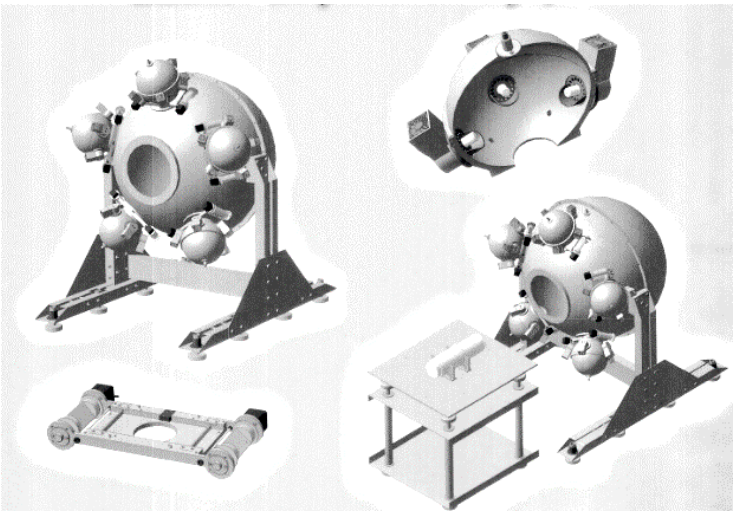


Рис. 1. Конструктивная схема ДИПЯ

Как видно из рисунка, источники излучения 1 расположены в первичных интегрирующих сферах 2, а поток, поступающий из них во вторичную интегрирующую сферу 3, регулируется набором калибровочных диафрагм 4 переменного сечения. В выходной апертуре 5 вторичной сферы формируется однородное переменное яркостное поле с фотометрическим телом, приближающимся к фотометрическому телу ламбертовского излучателя. Для получения аналогичного выражения, описывающего яркость выходной апертуры ДИПЯ, воспользуемся расчетной схемой, показанной на рис. 2.

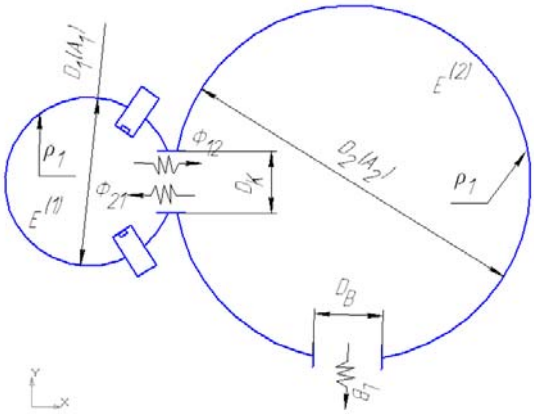


Рис. 2. Расчетная модель ДИПЯ

Освещенность внутренней поверхности первичной интегрирующей сферы E_1 определяется выражением [4]:

$$E_1 = \frac{N_{ш}\Phi_{ш}}{\pi D_1^2} \cdot \frac{\rho_1}{1 - \rho_1 \dfrac{\pi D_1^2 - A_{K1}}{\pi D_1^2}} \tag{1}$$

где $N_{ш}$ - количество источников излучения в первичной сфере;

$\Phi_{ш}$ - поток излучения от одного источника излучения;

D_1 - диаметр первичной сферы;

ρ_1 - интегральный коэффициент отражения поверхности первичной сферы;

A_{K1} - площадь выходной апертуры (калибровочной диафрагмы) первичной сферы.

A_{K1} рассчитывается как площадь сферического сегмента:

$$A_{K1} = 2\pi \frac{D_1}{2}\left(\frac{D_1 - \sqrt{D_1^2 - D_{K1}^2}}{2}\right) = \frac{\pi}{2} D_1^2 \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{D_{K1}}{D_1}\right)^2}\right),$$

где D_{K1} - диаметр калибровочной диафрагмы.

Поток излучения, поступающий из первичной сферы во вторичную Φ_{12} Φ_{12} Φ_{12} определяется из выражения:

$$\Phi_{12} = E_1 \cdot A_{K1}. \tag{2}$$

Поток излучения, поступающий во вторичную сферу от нескольких первичных сфер пропорционален суммарной площади всех калибровочных диафрагм и находится аналогично.

Тогда освещенность внутренней поверхности вторичной интегрирующей сферы E_2 будет равна:

$$E_2 = \frac{N_1 \Phi_{12}}{A_2} \cdot \frac{\rho_2}{\left(1 - \rho_2 \dfrac{A_2 - A_K \cdot N_1 - A_B}{A_2}\right)} =$$

$$= \frac{N_1 N_{ш} \Phi_{ш} A_K}{A_1 A_2} \cdot \frac{\rho_1 \rho_2}{\left(1 - \rho_1 \dfrac{A_1 - A_{K1}}{A_1}\right)\left(1 - \rho_2 \dfrac{A_2 - A_K N_1 - A_B}{A_2}\right)} =$$

$$= \frac{N_1 N_{ш} \Phi_{ш} A_K}{(\pi D_1 D_2)^2} \cdot \frac{\rho_1 \rho_2}{\left(1 - \rho_1 \dfrac{\pi D_1^2 - A_{K1}}{\pi D_1^2}\right)\left(1 - \rho_2 \dfrac{\pi D_2^2 - A_K N_1 \dfrac{\pi}{2} D_2^2 \left(1 - \sqrt{1 - \left(\dfrac{D_B}{D_2}\right)^2}\right)}{\pi D_2^2}\right)}, \tag{3}$$

где N_1 - количество первичных интегрирующих сфер;

A_2, D_2 - площадь и диаметр вторичной интегрирующей сферы соответственно;

ρ_2 - интегральный коэффициент отражения вторичной сферы;

$N_1 \cdot A_K$ - суммарная площадь калибровочных диафрагм;

A_B, D_B - площадь и диаметр выходной апертуры вторичной сферы соответственно.

Площадь выходной апертуры рассчитывается как площадь сферического сегмента:

$$A_B = 2\pi \frac{D_2}{2}\left(\frac{D_2 - \sqrt{D_2^2 - D_B^2}}{2}\right) = \frac{\pi}{2} D_2^2 \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{D_B}{D_2}\right)^2}\right).$$

Тогда яркость выходной апертуры, считая вторичную интегрирующую сферу ламбертовским излучателем, определяется выражением:

$$L_B = \frac{E_2}{\pi} = \frac{N_1 N_{ш} \Phi_{ш} A_K}{\pi A_1 A_2} \cdot \frac{\rho_1 \rho_2}{\left(1 - \rho_1 \frac{A_1 - A_{K1}}{A_1}\right)\left(1 - \rho_2 \frac{A_2 - A_K N_1 - A_B}{A_2}\right)} =$$

$$= \frac{N_1 N_{ш} \Phi_{ш} A_K}{\pi (\pi D_1 D_2)^2} \cdot \frac{\rho_1 \rho_2}{\left(1 - \rho_1 \frac{\pi D_1^2 - A_{K1}}{\pi D_1^2}\right)\left[1 - \rho_2 \frac{\pi D_2^2 - A_K N_1 \frac{\pi}{2} D_2^2 \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{D_B}{D_2}\right)^2}\right)}{\pi D_2^2}\right]}. \quad (4)$$

Энергетический анализ ДИПЯ и оптимизация его конструктивных параметров

С учетом изложенных выше соображений, для энергетического анализа ДИПЯ был использован численно-аналитический метод, при котором часть зависимостей устанавливалась расчетами, часть конструктивной проработкой и схемотехническим моделированием, а часть получена аналитически. Кроме этого, анализ выполнялся в два этапа – сначала были изучены общие приближенные закономерности, а затем после конструктивной и схемотехнической коррекции, было проведено более точное исследование, включающее оптимизацию основных параметров. Корме этого, при численном анализе энергетических характеристик ДИПЯ использовались следующие, оправданные конструктивными соображениями и применением в аналогичных системах, параметры:

1. Относительное отверстие ДИПЯ $G = \frac{D_0}{D_2}$, где D_0- диаметр эквивалентного отверстия во вторичной сфере, площадь которого A_0 равна сумме площади выходной апертуры и всех калибровочных диафрагм:

$$A_0 = A_B + A_{K\Sigma}.$$

При анализе величина G принималась равной: $\frac{1}{3}, \frac{1}{3.5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4.5}, \frac{1}{5}$. Среднее значение $G = \frac{1}{4}$.

2. Энергетический параметр излучателя $P_{\otimes}$, равный суммарной площади калибровочных диафрагм к площади выходной апертуры:

$$P_{\otimes} = \frac{A_{K\Sigma}}{A_B}.$$

Значения $P_{\otimes}$ при анализе – 0.1, 0.5, 1,3,5,10 среднее значение P = 1.

3. Количество первичных излучателей N_1 = 3, 5, 7. Среднее значение при анализе N_1 = 5.

4. Относительное отверстие первичного излучателя G_1, равное отношению максимального диаметра калибровочной диафрагмы $D_{K\max}$ к диаметру первичной интегрирующей сферы D_1 ($G_1 = \frac{D_{K\max}}{D_1}$). В расчетах G_1 принималось равным: $\frac{1}{2.5}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3.5}$ со средним значением $G_1 = \frac{1}{3}$.

5. Коэффициент заполнения источников излучения первичной сферы Q ($Q = \frac{N_{ш}}{D_1}$). Использовались значения $Q = 10, 20, 30\ ^1/_{м}$, при среднем значении $Q = 20\ ^1/_{м}$.

6. Величина потока, излучаемого одним источником излучения принималась равной 100 Вт (галогенная лампа КГМ – 30 – 300 – 2).

7. Покрытие первичной и вторичной интегрирующих сфер – сернокислый барий, “Spectralon” и “Infragold” со значениями интегрального коэффициента отражения ρ=0.927, 0.990 и 0.911 соответственно [5, 6].

8. Диаметр выходной апертуры D_B принимался равным 0.25 м.

В результате анализа определялось значение яркости выходной апертуры ДИПЯ L_B или другой промежуточной характеристики, при изменении перечисленных параметров в указанных пределах. При этом в каждом конкретном расчете изменялся один из параметров, а остальным присваивались средние значения. Результаты численного анализа представлены на рис. 3 (а–г).

Проведенный анализ показал:

1. Увеличение числа первичных излучателей (N_1) эффективно для повышения выходной яркости

ДИПЯ, при малых значениях энергетического параметра Р.

2. Существует оптимальное соотношение размеров калибровочной диафрагмы и выходной апертуры ДИПЯ (энергетический параметр *P*), при котором яркость ДИПЯ максимальна. Значение *P* составляет при этом 0.95 … 1.5.

3. Оптимальное количество первичных излучателей N_1 находится в пределах 5…7, если значение энергетического параметра соответствует оптимальному (т.е. 0.95…1.)

4. Увеличение коэффициента заполнения Q увеличивает выходную яркость ДИПЯ, причем тем больше чем больше количество первичных излучателей N_1.

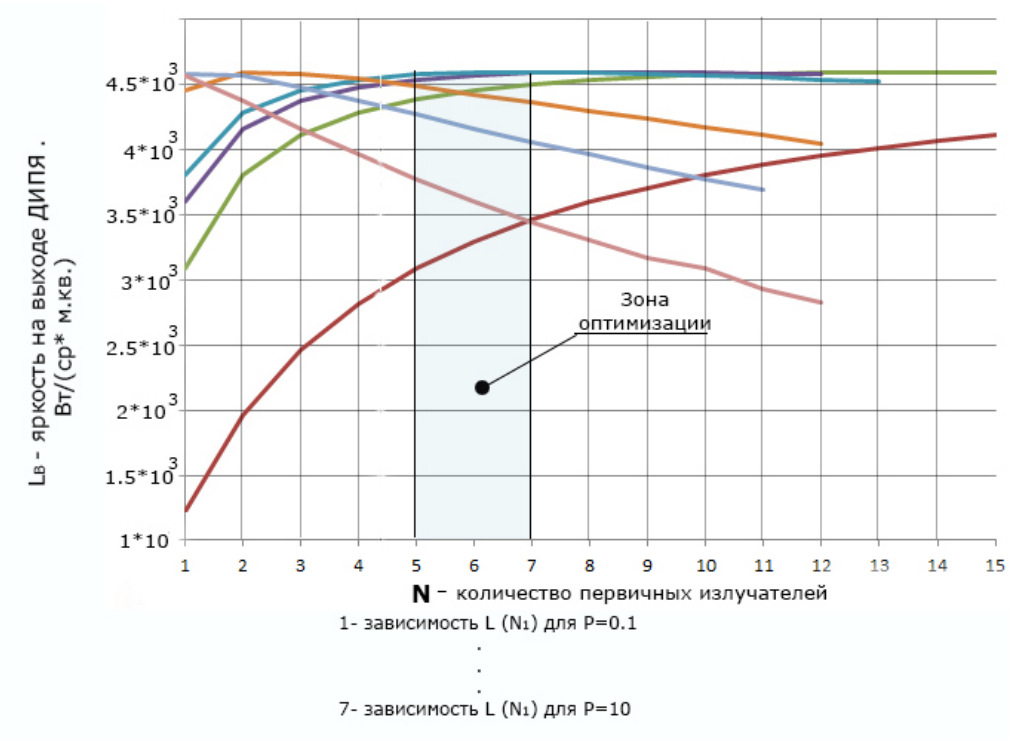


Рис. 3 а. Графики зависимости выходной яркости ДИПЯ L_B от количества первичных излучателей N_1

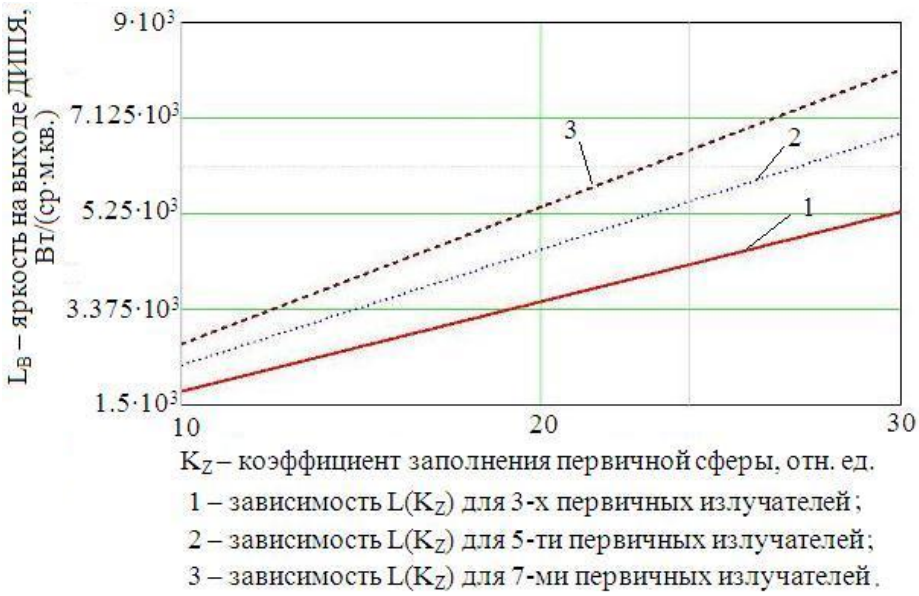


Рис. 3 б. Графики зависимости выходной яркости ДИПЯ L_B от коэффициента заполнения Q

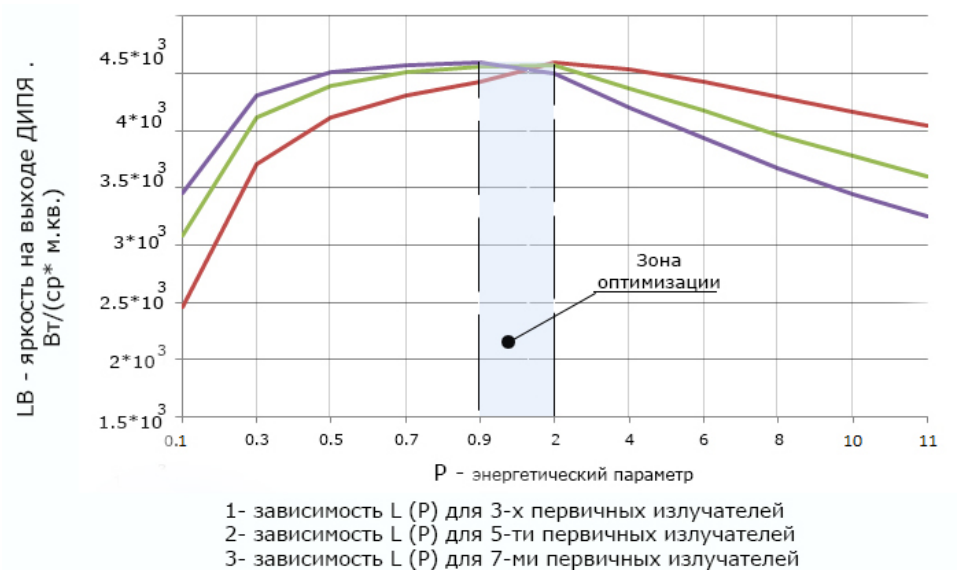


Рис. 3 в. Графики зависимости выходной яркости ДИПЯ L_B от энергетического параметра P

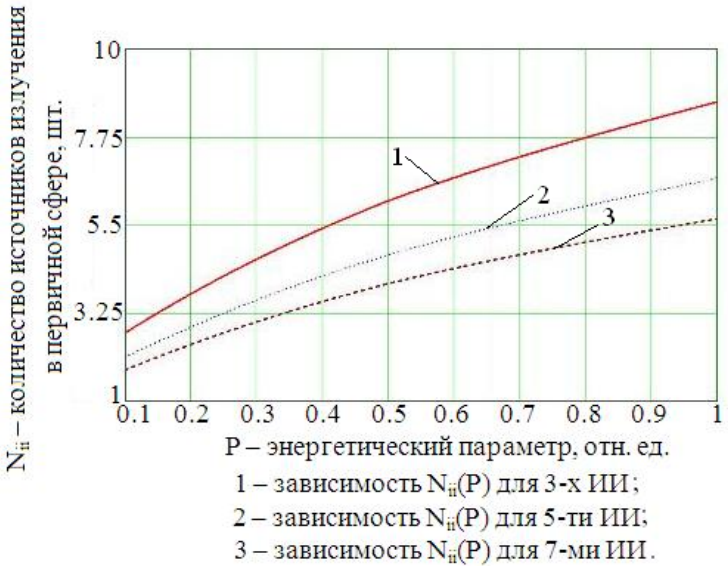


Рис. 3 г. Графики зависимости количества источников излучения в первичной сфере от энергетического параметра P

Методика проектирование ДИПЯ с оптимальными конструктивными параметрами

Выше отмечалось, что задача определений энергетических характеристик ДИПЯ является многовариантной и многопараметрической, причем значительная часть параметрических связей не имеет аналитического описания, и ограничена конструктивными соображениями. В полной мере это относится и к методам проектирования излучателя. Однако энергетический анализ ДИПЯ, проведенный выше позволил установить основные зависимости между его метрологическими характеристиками и параметрами основных конструктивных элементов. При этом также учитывались результаты, полученные при макетировании и экспериментальном исследовании излучателя, а также почерпнутые из литературных источников [7–13]. На основании этих зависимостей были разработаны следующие рекомендации по проектированию ДИПЯ с оптимальными конструктивными параметрами.

1. Исходя из размеров входной апертуры калибруемого устройства и конструктивных особенностей измерительного стенда, определяется величина выходной апертуры ДИПЯ D_B. При этом перекрытие апертуры ДИПЯ апертурой калибруемого устройства должно быть не меньше 20…25%.

2. Исходя из требуемой равномерности формируемого яркостного поля и максимальной требуемой яркости ДИПЯ, задаются величиной относительного отверстия G. Как показала практика использования диффузных излучателей в системах энергетической калибровки [1–3], величина G обычно выбирается в приделах 1/3 …1/5, причем большее значение позволяет несколько уменьшить габариты излучателя и повысить его яркость, но за счет снижения равномерности яркости поля и наоборот. Для прецизионных СРК рекомендуемое значение G – 1/4.

3. По определенным и заданным величинам D_B и G, а также используя зависимости выходной яркости от энергетического параметра его величина находится в пределах 0,1…10. Рекомендованное значение для большинства практических случаев P = 0,95-1.5.

4. По полученным значениям величин D_B, G, P и суммарной площади всех отверстий вторичной ИС

A_0 определяется суммарная площадь калибровочных диафрагм $A_{K\Sigma}$.

5. Задаваясь количеством первичных излучателей N_1 определяются размеры калибровочных диафрагм A_K. При этом следует учитывать, что при $N_1<3$ заметно снижается равномерность выходного яркостного поля и уменьшается его интегральное значение, а при $N_1>7$, существенно усложняется конструкция ДИПЯ. Применение четного числа первичных излучателей, как было показано выше, нецелесообразно из-за взаимного перекрытия зон освещения. Рекомендуемое значение N_1 - 5…7.

6. Используя соображения, изложенные в п.2 с той разницей, что требования к равномерности яркостного поля в первичном излучателе ниже, а требования к максимальной яркости выше, задаются относительным отверстием первичного излучателя G_1 из диапазона $1/2.5 \cdots 1/3.5$. Рекомендуемое значение $G_1 - 1/3$.

7. Исходя из требуемой выходной яркости ДИПЯ, по заданным N_1 и G, определяется диаметр первичного излучения D_1 и количество источников излучения $N_{ии}$. При этом основанием для отбора источников излучения прежде всего максимальный излучаемый поток, минимальные габариты, удобство крепления в ИС, минимальные потери энергии из-за виньетирования и экранирования, максимальная продолжительность горения. При определении $N_{ии}$ целесообразно задаться коэффициентом заполнения $Q_з$. Энергетически и конструктивно оправданный диапазон значений $Q_з$ - 10…30. Уменьшение $Q_з$ облегчает тепловой режим, но снижает выходную яркость и равномерность ее распределения в выходной апертуре. Наиболее рациональное значение $Q_з$ =20, но для излучателей с требованием повышенной величины яркости, значение $Q_з$ можно увеличить до 30…40. Однако при этом следует принять дополнительные меры по эффективному охлаждению первичного излучателя.

8. По формуле (4) определяется максимальная яркость формируемого ДИПЯ яркостного поля.

Коррекцию результатов расчетов наиболее удобно производить заменой типа используемых галогенных ламп и подбором коэффициента заполнения. Практика расчетов и проектирования ДИПЯ по предложенной методике, показала, что без изменения определенных конструктивных параметров излучателя, его выходную яркость можно изменять таким образом в пределах 40…60%.

С использованием рассмотренной методики была рассчитана яркость выходной апертуры ДИПЯ, используемая для измерения энергетических характеристик спутниковых зондирующих систем, которая составила $L_B = 4.593 \cdot 10^3$ Вт/Ср·м^2 при диаметре выходной апертуры 0.25 м.

$$L_B = \frac{E_2}{\pi} = \frac{N_1 N_{ии} \Phi_{ии} A_K}{\pi A_1 A_2} \cdot \frac{\rho_1 \rho_2}{\left(1 - \rho_1 \frac{A_1 - A_{K1}}{A_1}\right)\left(1 - \rho_2 \frac{A_2 - A_K N_1 - A_B}{A_2}\right)} =$$

$$= \frac{N_1 N_{ии} \Phi_{ии} A_K}{\pi (\pi D_1 D_2)^2} \cdot \frac{\rho_1 \rho_2}{\left(1 - \rho_1 \frac{\pi D_1^2 - A_{K1}}{\pi D_1^2}\right)\left[1 - \rho_2 \frac{\pi D_2^2 - A_K N_1 \frac{\pi}{2} D_2^2 \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{D_B}{D_2}\right)^2}\right)}{\pi D_2^2}\right]}$$

Расчетные параметры ДИПЯ

Интегральный коэффициент отражения первичной и вторичной сферы $\rho 1, \rho 2$ = 0.99; поток излучения от одного источника излучения $\Phi_{ии}$=100 Вт; количество первичных интегрирующих сфер N_1=5; количество источников излучения в первичной сфере $N_{ии}$=5; диаметр первичной сферы – 1 м; площадь выходной апертуры (калибровочной диафрагмы) первичной сферы $7.68 \cdot 10^{-3}$ м^2; площадь и диаметр выходной апертуры вторичной сферы – 0.032 м^2.

Выводы

Рассмотрена структурная схема диффузного излучателя переменной яркости на основе оптически-сопряженных интегрирующих сфер. Получены аналитические выражения, описывающие его энергетические и метрологические характеристики, позволяющие проектировать излучатель с данными параметрами.

Выполненный энергетический анализ излучателя позволяет оптимизировать его параметры. Доказано, что для получения максимальной выходной яркости необходимо, в первую очередь, увеличить количество первичных излучателей (оптимальное значение N = 5…7), выдерживая отношение площади калибруемых диафрагм и площади выходной апертуры в пределах 1/4 и применяя высокоотражающие покрытия (например, на основе политетрафторотилена) с коэффициентом отражения более 0.99.

Разработаны рекомендации и методика проектирования излучателя с оптимальными конструктивными параметрами. Доказано, что выполнение этих рекомендаций позволяет получить яркость $L_B = 4.593 \cdot 10^3$ Вт/Ср·м^2 в пределах выходной апертуры диаметром 0.25 м. Полученные результаты будут интересны специалистам в области оптической радиометрии и метрологии.

В дальнейшем планируется выполнить анализ точности излучателя и разработать рекомендации по ее увеличению.

Литература

1. Михеенко Л.А. Излучатель переменной яркости на основе сопряженных интегрирующих сфер / Л.А. Михеенко, В.Н. Боровицкий // Технология и конструирование радиоэлектронной аппаратуры. – 2006. – № 6(66). – С. 59–69.

2. Михеенко Л.А. Энергетическая калибровка многоспектральных сканерных устройств высокого расширения / Л.А. Михеенко, Ю.О. Гордиенко // Научные вести НТУУ «КПИ». – 2009. – № 3. – С. 42–49.

3. Михеенко Л.А. Метрологический анализ диффузного излучателя переменной яркости на основе сопряженных интегрирующих сфер / Л.А. Михеенко, Ю.О. Гордиенко // Научные вести НТУУ «КПИ». – 2009. – № 5. – С. 88–95.

4. Гуревич М. М. Фотометрия (теория, методы и приборы) / Гуревич М. М. – Л. : Энергоиздат, 1984. – 184 с.

5. Левизон А. И. Покрытие для интегрирующих сфер спектрофотометрических приборов / А. И. Левизон // ОМП. – 1974. – № 11. – С. 33–37.

6. Weidner V. R. Reflection properties of pressed polytetrafluorethylene powder / V. R. Weidner, J. J. Hisia // J. Opt. Soc. Of Amer. – 1981. – 71. – P. 856–861.

7. Тыннисон Т.А. Поверочная установка «Спектр» для метрологической аттестации аэрокосмической радиометрической аппаратуры в диапазоне длин волн 0,3-2,5 мкм / Р.Э. Граф, Л.О. Мяртин // Дистанционное зондирование атмосферы с борта орбитального комплекса «Салют-7» - «Космос-1686» - «Союз – Т14». – Тарту, 1989. – С. 54–66.

8. Киселев И.А. Контроль энергетических характеристик многозональных сканирующих устройств ИСЗ «Ресурс- 01» / И.А. Киселев, А.И. Коростелев, М.К. Нараева, А.С. Панфилов, А.В. Романов // Исследование Земли из космоса. – 1991. – № 2. – С. 34–43.

9. Мухамедяров Р.В. Метрологическая аттестация многоспектрального сканирующего устройства высокого расширения / Р.Д. Мухамедяров, А.С. Глушков, А.С. Михайлов, Р.Ш. Хисамов // Исследование Земли из космоса. – 1991. – № 1. – С. 64–74.

10. Устаткування для оптичного тестування сканера (SOTU). Технічний опис Jena-Optronik. Doc. No.: SOTU – TN – DJ0 – 0001. Date: 20.09.01.

11. Sakuma F. Prelaunch calibration system Optical Sensors of Japanese Earth Resources Satellite / F. Sakuma, A. Ono // SPIE. Calibration of Passive Observiny Optical and Microwave Instrumentation. – 1991. – Vol. 1493. – P. 37–47.

12. Penzoni F. J. Pre-Launch Absolube Calibration of CCD / CBERS – 2B Sernsor / F. J. Ponzoni, B. F. C. Albuquerque // Sensors. – 2008. – № 8. – P. 6557–6565.

13. Walker J. H. A technique for improving the calibration of lange – area shpere sources / J. H. Walker, C. L. Cromer // SPIE. Calibration of Passive Remote Observing Optical and Microwave Instrumentation. – 1991. – Vol. 1493. – P. 224–230.

Рецензія/Peer review : 25.3.2017 р. Надрукована/Printed :20.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Чиж І.Г.

УДК 621.391 160164

А.О. НІЧЕПОРУК, Ю.О. НІЧЕПОРУК, Б.О. САВЕНКО, М.В. СТЕЦЮК
Хмельницький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКОВАНИХ ЕМУЛЯТОРІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ МЕТАМОРФНИХ ВІРУСІВ В КОРПОРАТИВНІЙ МЕРЕЖІ

В роботі здійснено аналіз антиемуляційних технологій, що використовуються для виявлення штучного середовища метаморфними вірусами, розроблена їх класифікація. Ґрунтуючись на особливостях застосування антиемуляційних технологій розроблено її модель, що дозволяє здійснити визначення основних вразливостей віртуального середовища. На основі моделі застосування антиемуляційних технологій сформовано набір правил та налаштувань для модифікованих емуляторів, які використовуються для виявлення метаморфних вірусів в корпоративній мережі.

Ключові слова: антиемуляційні техніки, модифікований емулятор, змінена версія вірусного коду.

A.O. NICHEPORUK, Y.O. NICHEPORUK, B.O. SAVENKO, M.V. STETSYUK
Khmelnytskyi National University

INVOLVEMENT OF MODIFIED EMULATORS FOR METAMORPHIC VIRUS DETECTION IN CORPORATE NETWORK

The paper analyzes anti evasion techniques which are used for detection artificial environment by metamorphic viruses. Improved classification of the anti evasion technologies used metamorphic viruses. Based on the features of the application anti evasion technologies is developed a model which allows identification of the main vulnerabilities of the virtual environment. Based on the model of the application anti evasion technologies a set of rules and settings for modified emulators are formed. To detect metamorphic viruses modified emulators are placed on each host in the corporate network, this allowing to increase of the level of metamorphic viruses' demonstrations. Directly detection of metamorphic viruses is based on the comparison of metamorphic virus with its version, which was formed in the modified host emulators on the network.

Keywords: anti emulation techniques, modified emulator, modified version of the virus code.

Вступ

Сучасний розвиток технологій написання та впровадження вірусного коду не дозволяє здійснювати його виявлення простими сигнатурними методами. Для виявлення поліморфних та метаморфних вірусів застосовується метод емуляції виконання програмного коду. Проте, на сьогоднішній день шкідливе програмне забезпечення розширює та урізноманітнює набір інструментів та засобів для ухилення виявлення у віртуальному середовищі. Так, у 2015 році кількість обходів вірусними програмами віртуального середовища зросло на 2000% у порівнянні з 2014 роком [1], що свідчить про загрозливу тенденцію.

Тому, при розробці нових методів виявлення метаморфних вірусів, що використовують віртуальне середовище, доцільно здійснювати врахування технологій та засобів ухилення від емуляції.

Попередні дослідження

Для дослідження прояву шкідливого коду та захисту реальної робочої станції широко використовуються загальнодоступні віртуальні середовища, зокрема Anubis, Qemu, Norton SandBox та інші. Проте, фактор загальнодоступності робить їх вразливими перед розробниками нового шкідливого коду, оскільки зловмисники здатні розробляти алгоритми та процедури перевірки безпосередньо під виявлення конкретного віртуального середовища. Ґрунтуючись на проектах віртуальних машин з відкритим доступом було розроблено ряд методів використання емуляторів, що здатні протидіяти антиемуляційним технологіям.

Один з підходів забезпечення ухилення від ізольованого програмного середовища – створення прозорого середовища, що не відрізняється від реального середовища виконання додатків [2]. Проте, автори роботи [3] доводять твердження про неможливість створення абсолютно ідентичного реальному середовищу, особливо, якщо програмний код має доступ до мережі Internet (здійснення запиту до віддаленого ресурсу, наприклад, для визначення часу). Окрім того, підхід [2] не здатний протидіяти технологіям ухиленням від емуляції на основі перевірки часу виконання інструкцій.

У роботі [4] запропоновано метод виявлення шкідливого коду, що здатен здійснювати виявлення віртуального середовища. З цією метою автори використовують множину пісочниць, що дозволяє отримати різні поведінкові шаблони, отримані в різних середовищах. В роботі запропоновано алгоритми для нормалізації та порівняння поведінкових шаблонів, що дозволяє здійснити визначення частини коду, що відповідають за ідентифікацію віртуального середовища і, які демонструють семантично різну поведінку.

Модель застосування антиемуляційних технологій вірусними програмами

З метою отримання змінного середовища виконання при аналізі метаморфних вірусів, важливим етапом є дослідження та побудова моделей антиемуляційних технологій. У роботі [5] запропоновано класифікацію антиемуляційних технологій. Згідно із цією класифікацією всі технології ухилення поділяються на чотири групи, що визначають об'єкт перевірки: середовище, апаратне забезпечення, додаток та поведінка. Виокремимо ще одну групу, що визначає перевірку мережного з'єднання у віртуальній машині. Запропонована класифікація антиемуляційних технологій представлена на рис. 1.

Рис. 1. Класифікація технологій ухилення від емуляції

Для побудови моделі застосування антиемуляційних технологій вірусними програмами відобразимо предметну область у векторний простір [6]. Тоді, подамо модель застосування антиемуляційних технологій вірусними програмами у вигляді кортежу:

$$M_{aet} = \langle L, F, R \rangle, \tag{1}$$

де $L = \{l_i\}_{i=1}^{5}$ – множина об'єктів КС, що підлягають перевірці антиемуляційнимим технологіями;

$R = \{true, false\}$ – бінарна множина результату застосування антиемуляційних технологій;

$F = \{f_{i,j}\}_{i=1,\, j=1}^{N_F}$ – множина функцій для перевірки об'єкту КС, N_F – кількість функцій перевірки об'єкту.

Функція перевірки наявності dll бібліотек для функціонування віртуального середовища $l_1 \Rightarrow D_A \xrightarrow{f_{11}} \{d_{em} \mid d_{em} \in D\}$, де $D_A = \{d_{A_i}\}_{i=1}^{N_{D_A}}$ – множина встановлених в системі dll бібліотек, N_{D_A} – кількість dll бібліотек, $D = \{d_i\}_{i=1}^{N_D}$ – множина dll бібліотек для функціонування віртуального середовища, N_D – кількість dll бібліотек для функціонування віртуального середовища.

Функція перевірки розташування таблиці векторів переривань та інших системних структур даних $l_1 \Rightarrow A \xrightarrow{f_{12}} A'$, де $A = \{a_i\}_{i=0}^{0x3FFFFFFF}$ – множина доступних фізичних адрес.

Функція перевірки активних процесів, що відповідають програмам відлагоджувальникам, дизасемблерам $l_1 \Rightarrow P_A \xrightarrow{f_{13}} \{p_{em} \mid p_{em} \in P\}$, де $P_A = \{p_{A_i}\}_{i=1}^{N_{P_A}}$ – множина процесів гостьової ОС в стані виконання, $P = \{p_i\}_{i=1}^{N_P}$ – множина процесів відлагоджувальників та дизасемблерам.

Функція перевірки ID версії системи $l_1 \Rightarrow V \xrightarrow{f_{14}} V'$, де $V = \{v_i\}_{i=1}^{N_V}$ – множина ID версій системи.

Функція визначення часу виконання блоку коду за допомогою інструкцій типу rdpmc, rdtsc $l_5 \Rightarrow C \times M_r \xrightarrow{f_{51}} \{true, false\}$, де $C = \{c_i\}_{i=1}^{N_C}$ – множина команд виконуваної програми, $M_r = \{m_{r_i}\}_{i=1}^{N_{M_r}}$ – множина команд підрахунку тактів процесора.

Функція визначення часу виконання блоку коду за допомогою виклику API функцій GetTimeTick() $l_5 \Rightarrow C \times M_a \xrightarrow{f_{52}} \{true, false\}$, де $M_a = \{m_{a_i}\}_{i=1}^{N_{M_a}}$ – множина API викликів визначення часу з моменту запуску системи.

Функція перевірки маніпуляцій комп'ютерною мишею $l_5 \Rightarrow A_{api} \times B \xrightarrow{f_{53}} \{true, false\}$, де

$A_{api} = \{a_{api_i}\}_{i=1}^{N_{A_{api}}}$ – множина API викликів для при роботі з комп'ютерною мишею, $B = \{b_i\}_{i=1}^{N_B}$ – множина можливих операцій з використанням комп'ютерної миші.

Сформована модель застосування антиемуляційних технологій вірусними програмами дозволяє здійснити визначення основних вразливостей віртуального середовища, врахування яких, підвищить загальну ефективність динамічних методів виявлення шкідливого програмного забезпечення з використанням емуляторів.

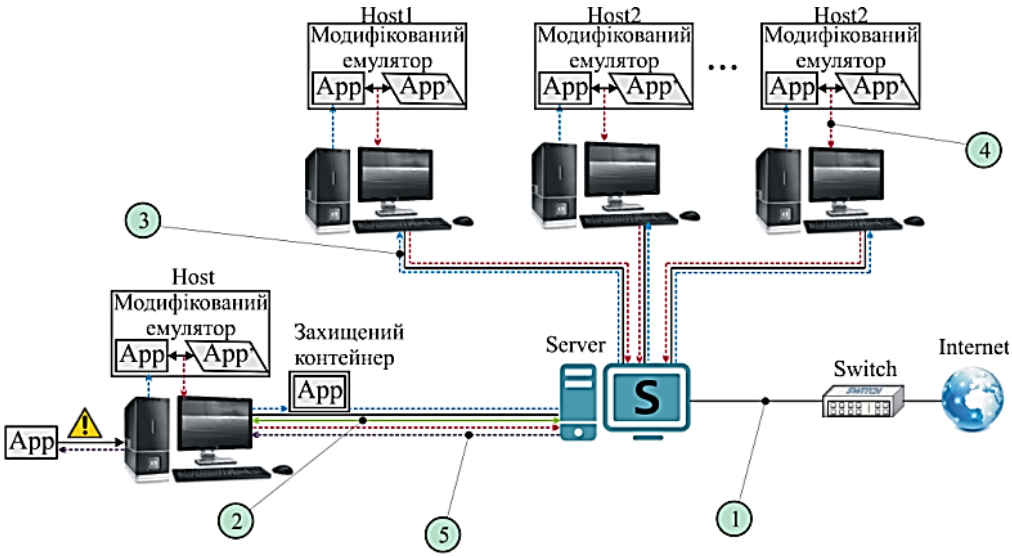
Технологія виявлення метаморфних вірусів з використанням модифікованих емуляторів в корпоративній мережі

З метою підвищення ефективності виявлення метаморфних вірусів запропоновано нову технологію, що заснована на аналізі поведінки програмного забезпечення на хості в корпоративній мережі [7].

Розглянемо основні кроки функціонування технології:

1. Перевірка підозрілості кожної нової програми на хості засобами аналізатора підозрілості програми. Перевірка здійснюється на основі евристичних правил, в основу яких покладено API виклики, що здійснює програма. Якщо в процесі перевірки ця програма буде визначена аналізатором підозрілості як suspicious, то здійснюється запит до сервера на предмет наявності поведінкової сигнатури для даної програми; на основі наявної на сервері бази потенційно небезпечних поведінок (ПНП), здійснюється пошук відповідної поведінки для підозрілої програми. Якщо відповідна поведінка присутня в чорному списку, тоді підозріла програма блокується; у разі наявності відповідної поведінки в білому списку – підозріла програма продовжує власне виконання; відсутність підозрілої поведінки в базі ПНП вимагає подальшого аналізу підозрілої програми.

2. Запуск на виконання програми, визначеної як підозріла, в середовищі модифікованого емулятора, який присутній на кожному хості; виконання дизасемблювання підозрілої програми та отримання зразка коду; здійснення емуляції виконання підозрілої програми та формування зміненого зразка коду, шляхом його дизасемблювання, на основі відстеження API викликів формування поведінки підозрілої програми. Відправлення на сервер для формування висновку щодо присутності метаморфного вірусу на хості зразків коду до та після емуляції (лістинги опкодів), підозрілої програми (в захищеному контейнері) та її поведінки (лістинг API викликів).



Інформаційні потоки в мережі:

1. фізичне з'єднання мережі;
2. запит до сервера на наявність поведінкової сигнатури; формування сигнатури;
3. розсилка та емуляція підозрілої програми на всіх хостах мережі;
4. передача вектору ознак схожості копій метаморфних вірусів на сервер;
5. отримання результату з сервера (блокування / дозвіл);

Рис. 2. Схема інформаційних потоків в мережі для технології виявлення метаморфних вірусів з використанням модифікованих емуляторів в корпоративній мережі

3. Опрацювання сервером отриманих результатів з хоста: розбиття отриманих з хоста зразків коду до та після емуляції на функціональні блоки, визначення еквівалентних функціональних блоків для зразків коду до та після емуляції; формування векторів ознак схожості зразків коду метаморфних вірусів для пар еквівалентних функціональних блоків зразків коду до та після емуляції на функціональні блоки; формування результату про ступінь подібності підозрілої програми до метаморфного вірусу на основі аналізу обфускації коду та поведінки з використанням нечіткого класифікатора. Якщо ступінь подібності до метаморфного вірусу має значення *High* то здійснюється блокування підозрілої програми на хості та додавання підозрілої

поведінки до чорного списку бази ПНП. Якщо ступінь подібності до метаморфного вірусу підозрілої програми отримав значення *Low* або *Medium,* то здійснюється розсилання підозрілої програми в захищеному контейнері на інші хости в мережі з метою їх запуску в модифікованих емуляторах.

4. Збір сервером інформації з хостів щодо поведінки, попередньо розісланої підозрілої програми: зразків коду до та після емуляції та поведінки. Здійснення нечітким класифікатором висновку щодо схожості підозрілої програми на метаморфних вірус. Якщо бодай на одному з хостів рівень схожості підозрілої програми на метаморфний вірус High, то здійснюється блокування підозрілої програми. Якщо рівень схожості – Low або Medium, то дозвіл виконання для цієї програми.

На рис. 2 представлено схему інформаційних потоків в мережі для технології виявлення метаморфних вірусів з використанням модифікованих емуляторів в корпоративній мережі.

Параметри та структура модифікованих емуляторів

В запропонованій технології виявлення метаморфних вірусів [7] критично важливим компонентом системи є модифіковані емулятори, що розміщуються на хостах мережі. Основною їх функцією є здійснення емуляції виконання підозрілої програми з метою отримання зміненої її версії. В процесі функціонування, метаморфні віруси створюють власну копію, забезпечуючи тим самим механізм власного поширення у комп'ютерній системі. У випадку розпізнання віртуального середовища метаморфним вірусом викликається функція очікування або переривання процесу інфікування [2], що унеможливлює отримання зміненої його версії. Тому, з огляду на розроблену модель застосування антиемуляційних технологій метаморфними вірусами, доцільно сформувати змінне середовище виконання.

Застосування методу емуляції полягає в імітації виконання аналізованого коду за допомогою емулятора – програмної моделі процесора і середовища виконання програм. Емулятор оперує з захищеною областю пам'яті (буфером емуляції). При цьому інструкції не передаються на центральний процесор для реального виконання. Якщо код, що обробляється емулятором, інфікований, то результатом його емуляції стане відновлення вихідного шкідливого коду, доступного для подальшого аналізу евристичними чи сигнатурними методами.

Роботу емулятора можна представити у вигляді циклічної послідовності:вибір і дизасемблювання чергової команди та моделювання виконання чергової команди.

Для здійснення процесу моделювання чергової команди виконується ряд етапів:

1) аналіз, визначення розміру та параметрів інструкції, що моделюється;

2) перерахунок адрес, повинен бути виконаний для всіх інструкцій, що виконують операції з пам'яттю;

3) перевірка адрес, тобто виявлення помилок адресації;

4) перевірка додаткових умов. Наприклад, при виконанні операції ділення необхідна перевірка дільника на предмет наявності значення 0;

5) виконання моделювання інструкції, здійснюється за рахунок зміни емулятором стану віртуальних регістрів, віртуального стеку, купи, буфера з кодом і даними програми та адрес у віртуальній пам'яті;

6) переведення вказівника віртуального регістра EIP на наступну інструкцію.

З метою визначення як код виконується центральним процесором змоделюємо роботу CPU за допомогою абстрактного автомата. Стан абстрактного автомата $s \in S$ складається з програмного лічильника pc, стану регістрів процесора R, стану пам'яті M та стану виконання E. Представимо стан абстрактного автомата кортежем:

$$s = \langle pc, R, M, E \rangle$$

Стан регістрів процесора R є повним відображенням регістрів процесора на їхнє значення. Стан пам'яті M є загальним відображенням $M : A \to [0...255]$ адрес пам'яті до однобайтного значення, де $A = [0...2^N - 1]$ – множина адрес пам'яті, і N кількість бітів процесора що використовується для адресації пам'яті. Програмний лічильник $pc \in A \cup \{halt\}$ може використовувати будь-яку адресу пам'яті; $halt$ – спеціальна адреса, що використовується для завершення процесу виконання. З метою спрощення запропонованої моделі різниця між кодом та даними не враховується, тобто будь-яка ділянка пам'яті потенційно може бути виконана. Стан виконання $E \in \{\perp, illegal\,instruction, division\,by\,zero, general\,protection\,fault\}$ визначає виключні ситуації, що виникають в процесі виконання останньої інструкції; стан $\perp$ визначає нормальне виконання інструкції (без виключної ситуації).

Тоді, абстрактний автомат, що моделює центральний процесор буде транзитивна система (S, δ). Транзитивна функція стану $\delta : S \to S$ здійснює відображення стану процесора у новий стан $s' = \langle pc', R', M', E' \rangle$ шляхом виконання поточної інструкції у pc. Транзитивну функцію δ визначимо наступним чином:

$$\delta(pc,R,M,E) \overset{def}{=} \begin{cases} (pc,R,M,E) & if\ pc = halt \vee E \neq \perp \\ (pc,R,M,E') & if\ exception \\ (pc',R',M',\perp) & otherwise \end{cases}$$

Якщо лічильник інструкцій вказує на синтаксично та семантично вірну інструкцію і виконання цієї інструкції не призводить до жодних виключних ситуацій тоді $\delta(pc,R,M,E) = (pc',R',M',\perp)$. Стан регістрів R' та пам'яті M' оновлюються відповідно до семантики інструкції, що виконується, лічильник інструкцій pc' вказує на наступну інструкцію, і $E'=\perp$. З іншого боку, якщо відбувається виключна ситуація тоді $\delta(pc,R,M,E) = (pc,R,M,E')$ і $E' \neq \perp$. Виникнення виключної ситуації вказує на те, що інструкція не може бути виконання центральним процесором, і, відповідно, лічильник інструкцій, регістри процесора та пам'ять зберігають свій попередній стан. Коли остання інструкція буде виконана, в лічильнику інструкцій встановлюється значення $halt$, і з цієї точки стан середовища виконання не змінюється. Подібна ситуація виникає коли відбувається виключна ситуація.

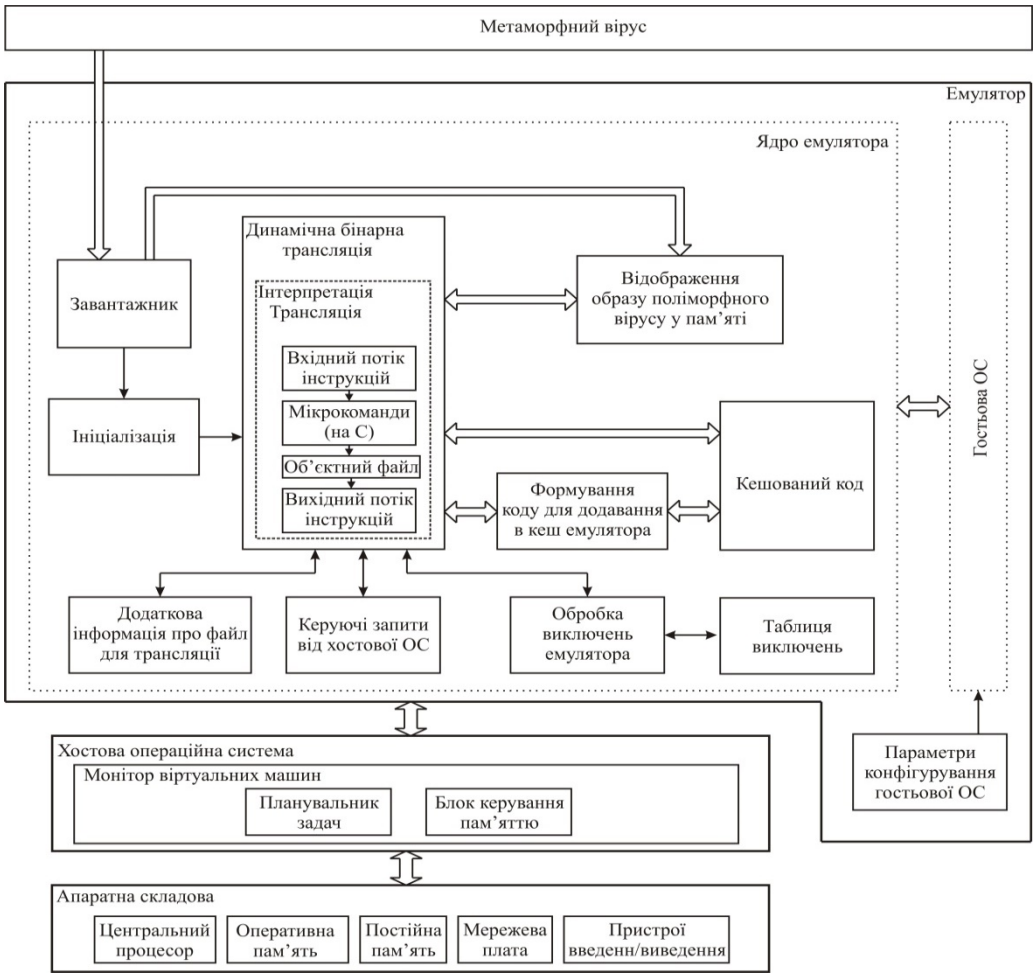


Рис. 3. Узагальнена структурна схема модифікованого емулятора для виявлення метаморфних вірусів

Розглянемо структуру та параметри модифікованих емуляторів, що використовуються для технології виявлення метаморфних вірусів.

На початковому етапі функціонування, завантажник (рис. 3) записує вхідний код метаморфного вірусу та дані з гостьової ОС в область пам'яті емулятора для подальшого його запуску та виконання. У якості формату виконуваних файлів для виявлення метаморфних вірусів у корпоративній мережі з використанням модифікованих емуляторів, визначено PE-EXE формат. Ядро емулятора сприймає вхідний код та дані у пам'яті як потік даних для процесу інтерпретації та/або трансляції, оскільки вхідний код не виконується на реальному апаратному забезпеченні хоста.

На наступному етапі завантажник здійснює виділення простору пам'яті для буфера під кеш код та інших таблиць даних, що використовуються в процесі емуляції. Процес ініціалізації також передбачає встановлення зв'язку з ОС для встановлення обробників сигналів умов переривання роботи, що можуть виникнути під час роботи емулятора.

Для здійснення попереднього аналізу вся множина вхідного коду розбивається на блоки для трансляції (translated blocks) до інструкцій переходу (jump) або інструкцій, що змінюють стан процесора. З метою підвищення швидкодії, блоки, що найчастіше використовуються заносяться у кеш пам'ять емулятора,

розміром 16 Мб, при переповненні якого здійснюється очищення.

У випадку появи сигналу про помилки чи переривання під час динамічної трансляції здійснюється обробка виключень. Виключна ситуація може виникнути при наявності в тілі поліморфного вірусу антиемуляційних методів. Наприклад, наявність ділянки коду вірусу, що здійснює інкремент/декремент змінної велику кількість разів (мільйон). У випадку відсутності генерації виключної ситуації при обробці такого блоку коду буде зависання процесу емуляції та, відповідно, відсутність інформації про підозрілу програму. Всі ці значення зберігаються у таблиця виключень.

Блок опрацювання керуючих запитів від ОС включає в себе поведінку емулятора при взаємодії з ОС та з зовнішніми пристроями (клавіатура, миша та ін.) шляхом перетворення викликів ОС у відповідні виклики емулятора. Це передбачає відстеження станів програмного лічильника, регістрів та умов переривання.

Для забезпечення змінного середовища виконання використовується блок здійснюється конфігурування параметрів гостьової ОС, що включають в себе:

- тип операційної системи, її розрядність;
- налаштування MAC адреси гостьової ОС;
- налаштування імені користувача, серійного номеру встановленої ОС;
- приховування процесу виконання модифікованого емулятора та захист процесу від читання/запису в хостовій ОС;
- відключення модуля обміну даними між віртуальною машиною та хостовою ОС (Virtual Machine Communication Interface);
- зміна параметру ключа реєстру в хостовій ОС HKEY_LOCAL_ MACHINE \SYSTEM\ControlSet001\Services\Disk\Enum;
- з метою ухилення від перевірки часу виконання (rdtsc та GetTimeTick()) здійснення створення простого додатку з назвою процесу та вікна OllyDbg, що дозволить ввести в оману метаморфний вірус про існування відлагоджувальника OllyDbg та не застосовувати дану техніку ухилення [5];
- запуск виконуваного файлу здійснюється з використання додатку, що виконує симуляції руху та натискань миші;
- модифікація функції IsDebuggerPresent(). Значення що повертається завжди true;
- зміна конфігураційного файлу та встановлення правил, (табл. 1).

Таблиця 1

Набір правил для конфігураційного файлу модифікованого емулятора (на хостовій ОС)

№	Правило
1	isolation.tools.getPtrLocation.disable = «TRUE»
2	isolation.tools.setPtrLocation.disable = «TRUE»
3	isolation.tools.setVersion.disable = «TRUE»
4	isolation.tools.getVersion.disable = «TRUE»
5	monitor_control.disable_directexec = «TRUE»
6	monitor_control.disable_chksimd = «TRUE»
7	monitor_control.disable_ntreloc = «TRUE»
8	monitor_control.disable_selfmod = «TRUE»
9	monitor_control.disable_reloc = «TRUE»
10	monitor_control.disable_btinout = «TRUE»
11	monitor_control.disable_btmemspace = «TRUE»
12	monitor_control.disable_btpriv = «TRUE»
13	monitor_control.disable_btseg = «TRUE»

Окрім того, з метою успішного розпізнання та завершення процесу емуляції, інструкції, що не представлені у множині асемблерних команд замінюються на інструкцію NOP. Така модифікація дозволить здійснити емуляцію програми, навіть якщо зустрінеться невідома команда і, відповідно, не буде здійснено аварійне завершення програми емуляції. Після завершення процесу емуляції, у сформованому дизасембльованому файлі на місці NOP, буде міститися відповідна команда, емуляцію якої віртуальний процесор не зміг здійснити.

Експерименти

З метою оцінки ефективності методу виявлення метаморфних вірусів було досліджено залежність рівня виявлення метаморфних вірусів від кількості хостів, на яких розташовувались модифіковані емулятори. Для цього було залучено університетську мережу. Вона складається з 80 робочих станцій. На кожній станції було встановлено модифіковані емулятори на основі Qemu [8]. В якості дизасемблера в модифікованому емуляторі було використано IDA Pro [9].

На кожному хості було проведено налаштування параметрів модифікованих емуляторів, що наведені у табл. 2.

Для проведення цього експерименту було згенеровано по 3 різних копії метаморфних вірусів трьох

типів – NGVCK, VCL32 та G2 [10]. Всі метаморфні версії, що створювались за допомогою зазначених генераторів були скомпільовані з опціями anti-debugging та anti-emulation.

Спочатку здійснювалась встановлення одного метаморфного вірусу на 10 хостів (рис. 4). Кожен наступний експеримент передбачав збільшення кількості хостів на десять. Таким чином, для згенерованих 9 вірусів було проведено по 8 експериментів. На рис. 4 представлено усереднені результати виявлення проявів метаморфного вірусу в модифікованих емуляторах.

Таблиця 2

Параметри модифікованих емуляторів

Параметри, що змінюються на кожному модифікованому емуляторі				
№	Параметр	Початок діапазону	Кінець діапазону	Кількість можливих значень
1	Зміна MAC адреси	00-15-5D-01-80-00	00-15-5D-01-8F-FF	4096
2	Тип ОС	Лінійка ОС Windows NT		5
3	Розрядність ОС	32	64	2
4	Доступ до мережі Internet	Так	Ні	2
5	Налаштування системних портів для емуляторів в яких є доступ до мережі Internet*	Відкритий	Закритий	2 (для кожного порту з переліку)
6	Зміна параметру ключа реєстру HKEY_LOCAL_ MACHINE \SYSTEM\ControlSet001\Services\ Disk\Enum	WD3200BEAT	WD3200BEVT	24 (назви жорсткого диску)
7	Розмір встановленої оперативної пам'яті, Мб	1024	4096	4
8	Встановлення паролю адміністратора	111111	999999 (а також password, qwerty, abc)	48
9	Створення простого додатку з назвою процесу OllyDbg	Так	Ні	2
Початкові параметри для всіх модифікованих емуляторів				
10	Конфігурування файлу модифікованого емулятора (на хостовій ОС – табл. 1)			
11	Відключення модуля обміну даними між віртуальною машиною та хостовою ОС			
12	Модифікація API IsDebuggerPresent()**			
13	Заміна інструкції, що не може бути виконана на інструкцію NOP			
14	Запуск виконуваного файлу через додаток, що виконує симуляції руху та натискань миші			

*В емуляторах, що мали з'єднання з мережею Internet було здійснено конфігурування найбільш вразливих до атаки системних портів: 20, 21, 2,3 25, 53, 80, 110, 137, 138, 139, 143, 445, 8000, 8080, 3128, 3389, 6588, 1080, 5900, 8888.
** Модифікація API функції IsDebuggerPresent()** передбачала завжди встановлення поверненого значення у true.

Результати проведеного експерименту свідчать про те, що зі збільшення хостів в мережі, на яких встановлено модифіковані емулятори, збільшується рівень прояву метаморфних властивостей.

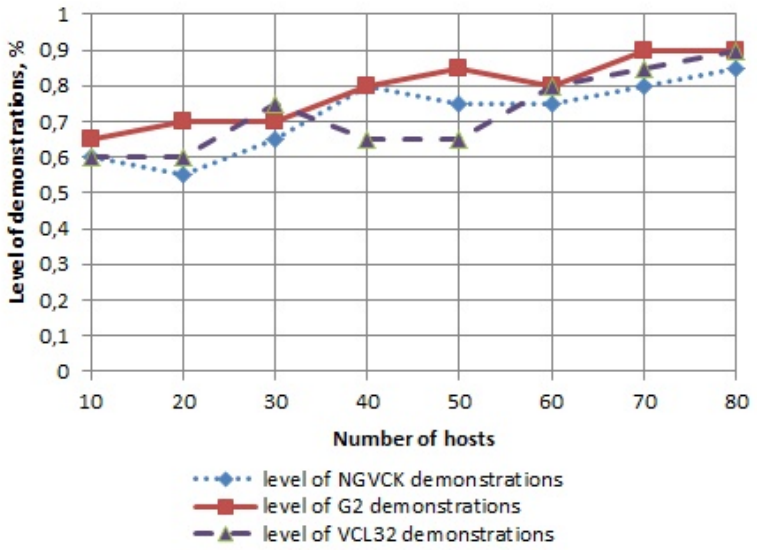


Рис. 4. Залежність рівня прояву метаморфних вірусів від кількості хостів в мережі

Висновок

В роботі проведено аналіз антиемуляційних технологій, що використовуються для виявлення штучного середовища метаморфними вірусами, розроблена їх класифікація. Ґрунтуючись на особливостях застосування антиемуляційних технологій розроблено її модель, що дозволяє здійснити визначення основних вразливостей віртуального середовища. На основі моделі застосування антиемуляційних технологій сформовано набір правил та налаштувань для модифікованих емуляторів, які використовуються для виявлення метаморфних вірусів в корпоративній мережі. Результати проведених експериментів свідчать про те, що зі збільшенням кількості модифікованих емуляторів рівень прояву метаморфних вірусів зростає.

Література

1. Kruegel, C.: Evasive Malware Exposed and Deconstructed, RSA Conference, pp. 1-70, (2015).
2. Dinaburg, A., Royal, P., Sharif, M., Lee, W.: Ether: Malware Analysis via Hardware Virtualization Extensions. In: Proceedings of the ACM Conference on Computer and Communications Security, pp. 51-62, CCS (2008).
3. Pek, G., Bencsáth, B., Buttyán, L.: nEther: In-guest Detection of Out-of-the-guest Malware Analyzers. In: ACM European Workshop on System Security, pp. 85-91, EUROSEC (2011).
4. Lindorfer, M., Kolbitsch, C., Comparetti, P.M.: In Proc. of the 14th International Symposium, vol. 6964, pp. 338-357, RAID, (2011).
5. Chen, X., Andersen, J., Mao, M., Bailey, M., Nazario, J.: Towards an Understanding of Anti-virtualization and Anti-debugging Behaviorin Modern Malware, In Proc. of the 5th IEEE International Conference on Malicious and Unwanted Software, pp. 177-186, MALWARE, (2008).
6. Raffetseder, T., Kruege, C., Kirda, E.: Detecting System Emulators: In Proc. of the 10th international conference on Information Security, pp. 1-18, (2007).
7. Pomorova, O., Savenko, O., Lysenko, S., Nicheporuk, A.: Metamorphic virus detection technique based on the modified emulators: In proc. of the 12th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer, pp. 375-383, ICTERI (2016).
8. Qemu. Open source processor emulator [online] Available: http://wiki.qemu.org/Main_Page
9. Hex-Rays, S.A.: IDA Pro 5.5 [online] Available: https://www.hex-rays.com/products/ida/
10. VX Heavens [online] Available: http://vxheaven.org/

Рецензія/Peer review : 5.3.2017 р. Надрукована/Printed :17.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н. Мартинюк В.В.

УДК 536.4

З.Ю. ОСТРОВСЬКИЙ, М.С. МІЛЬ
Хмельницьке територіальне відділення МАН

КОМІРКИ БЕНАРА

В статті представлено дослідження процесу виникнення елементарних конвективних комірок у шарі в'язкої нестисливої рідини. Методом розмірних оцінок встановлено теоретично умови виникнення елементарних конвективних комірок в шарі в'язкої нестисливої рідини при її нагріванні знизу, експериментально визначено характерні фізичні параметри комірок Бенара, проведено їх класифікацію, встановлено умови виникнення різних типів комірок, визначено розподіл температур в комірках, досліджено можливість регулювання параметрів комірок. Результати досліджень дозволяють створити технологічні процеси для отримання матеріалів з певною внутрішньою структурою.

Ключові слова: дисипація, нерівноважні системи, теплопровідність, конвекція, комірки Бенара.

Z.YU. OSTROVSKY, M.S. MIL
Khmelnytsky territorial office of Small Academy of Sciences

BENAR CELLS

The article describes the research of formation process of convective cells in the stratum of a viscous incompressible liquid. With the help of the method of dimensional ratings there were found the conditions responsible for the formation of convective cells in the stratum of a viscous incompressible liquid heated from below; the characteristic physical parameters of Benar cells were experimentally determined; for the first time there was made the classification of convective cells; there were established the conditions of convective cells formation process and the allocation of temperature zones inside the cell, experimentally explored the possibility of regulating the parameters of convective cells. The results of the research enable to create technological processes to produce material with a specific internal structure.

Key words: dissipation, nonequilibrium systems, thermal conductivity, convection, Benar cells.

Вступ

Існують складні макроскопічні нерівноважні системи, що містять впорядковані структури, в яких порядок народжується з хаосу: вітри, океанські течії, рух материків, потоки сонячної матерії, лазери, конвективні і гідродинамічні комірки, хімічні реакції з часовою і просторовою періодичністю, живі організми тощо. Через складність відкритих систем у них можливе утворення різного виду структур, ключову роль в яких грає дисипація – процес передавання речовини або енергії всередині системи або між системою та навколишнім середовищем. Для існування в системі впорядкованих структур вона повинна бути відкритою, тобто обмінюватися з навколишнім середовищем енергією й ентропією. При цьому зміна енергії чи ентропії має бути достатньою для того, щоб система перебувала в стані, далекому від термодинамічної рівноваги.

Конвекція – один з тих процесів, у результаті яких системи, спочатку невпорядковані, приходять в упорядкований стан. При нагріванні рідини знизу виникає різниця температур між верхньою і нижньою поверхнями. Для малих різниць температур рідина залишається в спокої і тепло передається тільки шляхом теплопровідності. При різниці температур вищій від критичної режим нерухомої теплопровідної рідини стає нестійким, і на зміну йому приходить стійкий режим [5, с.123], який характеризується наявністю конвективних осередків . У центрі кожного осередку рідина рухається вгору, а поблизу країв – вниз [7, с.23]. Система, у якій є потоки енергії або речовини (такі системи називаються нерівноважними), налаштовується таким чином, щоб зробити втрати енергії мінімальними [1, с.336]. Висхідні і низхідні потоки рідини строго упорядковуються, утворюючи досить правильну картину: шар рідини ділиться на призми – комірки Бенара, по гранях яких рідина стікає вниз, а всередині піднімається вгору.

Експериментальна частина

Методом розмірних оцінок нами встановлено, що існує критична різниця температур ΔT (за якої відбувається зрив теплопровідного режиму), яка визначається параметрами рідини – в'язкістю η, температуропровідністю χ, густиною ρ, коефіцієнтом об'ємного розширення β, а також товщиною шару рідини L, яка визначається співвідношенням

$$\Delta T > \frac{\eta\chi}{\rho_1 \beta g L^3} \tag{1}$$

Що більша товщина шару, то за меншої різниці температур на нижній і верхній його межах теплопровідний режим замінюється на конвективний.

Для дослідження конвективних комірок було проведено серію дослідів. Як нагрівник використовувалася електрична плитка потужністю 300Вт, на яку для рівномірності нагрівання поміщалася сталева пластина товщиною 5 мм. Досліджувану рідину наливали в каструлю з термостійкого скла з плоским дном квадратної форми зі стороною 7 см та вертикальними стінками. Висоту стовпа рідини вимірювали слюсарною лінійкою з ціною поділки 1 мм. Горизонтальність установки контролювали за допомогою будівельного рівня. Для вимірювання температури використовувалися мультиметри DT9208A. Процеси утворення комірок Бенара записувалися на відео за допомогою камери телефону. Розміри комірок визначалися за допомогою програми Adobe Photoshop.

Досліди проводилися з дистильованою водою і олією з додаванням до них алюмінієвої пудри. Найкраще утворення комірок спостерігалося в олії з домішками пудри, тому подальші дослідження проводилися з цією рідиною.

У процесі нагрівання рідини від температури навколишнього середовища до температури кипіння виникали комірки Бенара, які з часом послідовно змінювали форму: назвемо їх комірки-многокутники, округлі комірки, комірки-шестикутники, напрямлені комірки та напрямлені рухомі комірки. Комірки-многокутники – комірки у формі неправильних многокутників, кількість кутів яких варіюється від 4 до 7. Округлі комірки набувають форми кругів, а комірки-шестикутники – форми многокутників які мають 6 кутів. У напрямлених комірках ділянка з висхідним потоком рідини сильно зміщена до одного з країв, на відмінну від інших типів комірок, де вона знаходиться практично в самому центрі комірки. До того ж протилежна частина комірки сильно видовжується і розширюється до центра посудини. Напрямлені комірки мають значно більші розміри, ніж інші типи комірок. Напрямлені рухомі комірки аналогічні напрямленим, але вони ще й рухаються до центру посудини. У них відсутні гострі кути, всі краї заокруглені. Після того, як напрямлена комірка зрушила з місця, на її місці виникає нова, яка рухається за нею. Під час руху комірки зберігають свою форму і ледь розширюються, наближаючись до центру посудини. Із підвищенням температури швидкість їх руху зростає. Спільним для всіх типів комірок є однаковий принцип циркуляції рідини всередині комірки та розмежування на ділянки різної температури. Відмінними є форма та розміри комірок, температура їх утворення і зникнення, різниця температур у центрі комірки та на межі їх поділу.

На фотографіях (рис. 1) темна ділянка всередині кожної комірки – це частина, по якій нагріта рідина підіймається вгору. Рух рідини в кожній комірці відбувається від центральної частини до країв; досягнувши їх, рідина стікає донизу. До того ж температура в комірці не є однаковою: в частині, де відбувається висхідний рух рідини, вона найбільша, а в місцях низхідного потоку – найнижча. Різниця цих температур Δt змінюється залежно від товщини шару рідини та типу комірки. Від цих факторів також залежать і розміри комірок.

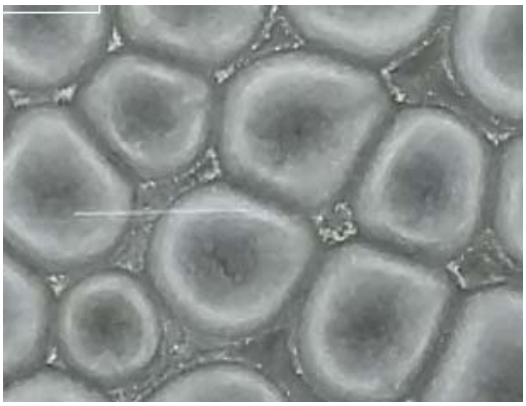


Рис. 1. Комірки Бенара

Рис. 2. Зникнення структури

При товщині шару рідини близько 1 мм комірки не утворюються, оскільки нагрівання всіх шарів відбувається рівномірно. Мінімальною товщиною шару рідини, при якій з'являються чіткі структури, є h_0 =3 мм. Крім того, дослідження проводилися для шарів товщиною h_1 =5,5 мм, h_2 =8 мм, h_3 =10,5 мм. При товщині шару рідини h_3 =10,5 мм форма комірок змінюється дуже динамічно, зникає їх впорядкованість та чітка форма (рис. 2). Таким чином, товщина шару h_2 =8 мм є максимальною товщиною шару рідини в даних умовах досліду, при якій спостерігаються комірки Бенара.

При нагріванні рідини спочатку з'являються комірки-многокутники (рис. 3), які перетворюються на округлі комірки (рис. 4), з яких утворюються комірки-шестикутники (рис. 5), потім – напрямлені комірки (рис. 6), які трансформуються в напрямлені рухомі комірки (рис. 7). Середні значення температур, за яких з’являються та зникають комірки, отримані на основі п’яти дослідів з кожним шаром рідини, наведено в таблиці 1.

Таким чином, форма комірок визначається температурою рідини і товщиною її шару. При товщині шару рідини 8 мм округлі комірки та комірки-шестикутники не утворюються. Напрямлені рухомі комірки не зникають до початку процесу кипіння рідини. Що більша товщина шару рідини, то при меншій температурі рідини з’являються комірки, що узгоджується з формулою .

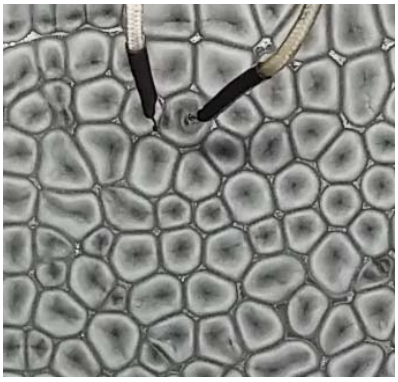


Рис. 3. Комірки-многокутники

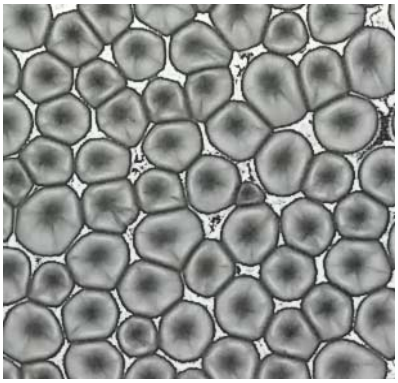


Рис. 4. Округлі комірки

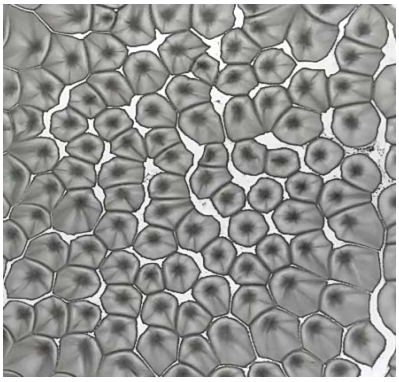


Рис. 5. Комірки-шестикутники

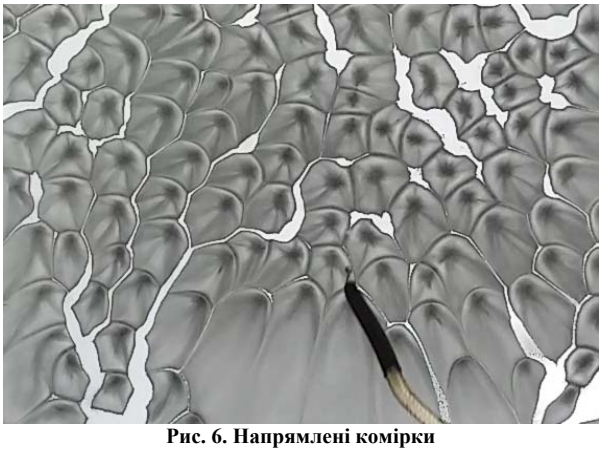


Рис. 6. Напрямлені комірки

Рис. 7. Напрямлені рухомі комірки

Таблиця 1

Температура появи та зникнення комірок при різній товщині шару рідини

Тип комірки	Висота шару рідини h, мм	Температура, за якої з'являються комірки t_1, ^{0}C	Температура, за якої зникають комірки t_2, ^{0}C
Комірки-многокутники	3	27,5	47,5
	5,5	26,5	36,5
	8	21	27,5
Округлі комірки	3	36	61
	5,5	31,5	48
	8	-	-
Комірки-шестикутники	3	49,5	92
	5,5	39,5	60,5
	8	-	-
Напрямлені комірки	3	39,5	99
	5,5	33,5	67,5
	8	28	39
Напрямлені рухомі комірки	3	90,5	-
	5,5	55,5	-
	8	32,5	-

Для дослідження розподілу температур у верхньому шарі рідини датчики температури мультиметрів поміщалися в центрі комірки і на межі їх поділу, тобто вимірювалася температура в місцях висхідного і низхідного потоків рідини (рис. 8). Вимірювання проводилися 10–15 разів для кожного випадку. Середні значення різниці цих температур для різних типів комірок і різних висот шарів рідини наводяться в таблиці 2.

Рис. 8. Дослідження розподілу температур у комірці

Таблиця 2

Різниця температур Δt для різних типів комірок та шарів рідини

Висота шару рідини *h*, мм	Форма комірок				
	Комірки-многокутники	Округлі комірки	Комірки-шестикутники	Напрямлені комірки	Напрямлені рухомі комірки
	Різниця температур Δt, ^{0}C				
3	3,6	4,0	6,6	7,4	9,7
5,5	2,5	3,1	4,3	5,5	7,1
8	1,4	-	-	3,2	4,6

Як видно, різниця між температурою в центрі комірки і на межі поділу комірок різна для різних типів комірок і зростає зі збільшенням температури рідини та зменшується зі збільшенням товщини шару рідини.

Параметром, який характеризує розміри комірок, був обраний периметр комірки, який визначався на основі фотографій за допомогою програми Adobe Photoshop. Результати вимірювань наведені в таблиці 3. Периметр напрямлених рухомих комірок не визначався, оскільки вони постійно змінювали свої розміри.

Таблиця 3

Периметр комірок при різній товщині шару рідини

Висота шару рідини *h*, мм	Форма комірок				
	Комірки-многокутники	Округлі комірки	Комірки-шестикутники	Напрямлені комірки	Напрямлені рухомі комірки
	Периметр комірок				
3	3,1	2,6	3,3	4,2	-
5,5	4,3	4,7	5,5	8,2	-
8	6,2	-	-	8,7	-

Як бачимо, периметр комірок зростає зі збільшенням температури. Збільшення товщини шару рідини приводить до збільшення розмірів комірок і, відповідно, зменшення їх кількості.

Під час різкого охолодження нагрітої рідини (для цього посудину поміщали в холодну воду температурою 18^{0}C) комірки швидко зменшували свої розміри, а їх кількість зростала. Комірки отримували особливий зовнішній вигляд – центральна частина, по якій рідина підіймається вгору, дуже сильно розширювалася і починала займати майже всі розміри комірки (рис. 9, рис. 10). Напрям циркуляції рідини в комірці зберігався сталим. З охолодженням рідини розміри комірок збільшувалися, їх кількість зменшувалася, вони починали зникати від краю посудини до центру. Що до більшої температури була нагріта рідина, то менших розмірів набували комірки, утворені на початку різкого охолодження.

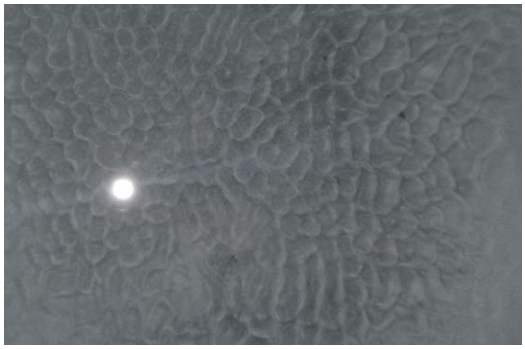


Рис. 9. Швидке зменшення розмірів комірок

Рис. 10. Швидке зменшення розмірів комірок

Висновки

Таким чином, із ростом температури дна посудини з рідиною кількість циліндричних конвективних осередків мінімального діаметра збільшується від одного-двох аж до заповнення ними всієї поверхні рідини. На наш погляд, явище зародження одного осередку і подальшу появу інших зумовлено тим, що вони переносять більше тепла в одиницю часу між шарами рідини, ніж за простого збільшення діаметра осередку. Оскільки потужність конвективного потоку рідини прямо пропорційна радіусу так, як і периметру осередку, рідина розбивається на гексагональні конвективні комірки меншого діаметру. Формування двох однакових циліндричних осередків з меншим радіусом, енергетично більш вигідне, ніж одного осередку, але більшого радіуса. Виходячи з наведеного вище твердження, можна сформулювати принцип покриття поверхні рідини багатокутними структурами. Оскільки збільшення температури дна посудини приводить до зростання числа елементарних циліндричних осередків, то повинен настати момент, коли вони почнуть стикатися і в результаті щільного скупчення утворювати багатокутники, які вкриють поверхню рідини. При цьому структура багатокутників з мінімальними радіусами конвективних осередків, а отже, великим сумарним периметром осередків забезпечує максимальне перенесення тепла. В ідеальному випадку такими багатокутниками є шестикутники. Подальше збільшення температури дна ємності руйнує встановлений порядок, і шар рідини переходить у стадію хаотичного конвективного руху. Нами встановлено, що комірки змінюють свою форму в процесі нагрівання, що не описано в жодному із опрацьованих джерел, зроблено класифікацію комірок.

Експериментально підтверджена стійкість конвективного процесу та можливість регулювання параметрів комірок нагріванням та охолодженням різної інтенсивності, що дає можливість отримувати матеріали з певною внутрішньою структурою. Такі матеріали можна отримувати з розплавів речовин, створюючи критичну різницю температур на верхній і нижній межі та комбінуючи процеси нагрівання і швидкого охолодження речовини до переходу її у твердий стан зі збереженням утворених структур. На нашу думку, такий метод може використовуватися для створення матеріалів з наперед заданими властивостями.

Література

1. Біленко І.І. Фізичний словник / І.І. Біленко. – К. : Вища школа. Головне видавництво, 1979. – 336 с.

2. Брук Ю. Метод размерностей помогает решать задачи / Ю. Брук, А. Стасенко // Квант. – 1981. – № 6. – 37 с.

3. Геворкян Р.Г. Курс общей физики : учебное пособие для вузов / Р.Г. Геворкян, В.В. Шепель. – 3-е изд., перераб. – М. : Высшая школа, 1972. – 600 с.

4. Кухлинг Х. Справочник по физике / Х. Кухлинг. – М. : Мир, 1983. – 519 с.

5. Введение в теорию самоорганизации открытых систем / Д.И. Трубецков, Е.С. Мчедалова, Л.В. Красичков. – М. : Физматлит, 2002. – 198 с.

6. Введение в теорию самоорганизации открытых систем [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://sgtnd.narod.ru/papers/tmk.pdf.

7. Физический энциклопедический словарь. – М. : Советская энциклопедия, 1984. – 944 с.

8. Шефер В. Наблюдение над утренней чашкой кофе / В. Шефер // Квант. – 1977. – № 4. – С. 22–26.

Рецензія/Peer review : 14.3.2017 р. Надрукована/Printed :15.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Любчик В.Р.

УДК 004.93

Н.С. СВИРНЕВСКИЙ
Хмельницкий национальный университет

АЛГОРИТМ РЕКОНСТРУКЦИИ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ

В статье описывается алгоритм 3D реконструкции по изображениям, который есть решением одной из множества задач, реализуемых через композицию матриц аффинных преобразований в однородных координатах. Алгоритм описан для простейшего случая ортогонального проецирования, когда взаимное положение камер определяется только 2-я параметрами. Однако этот алгоритм может быть легко обобщен для случаев, когда взаимное положение камер определяется большим количеством параметров, включая и центральное проецирование.

Ключевые слова: 3D реконструкция, геометрия, моделирование, матрица, преобразование, алгоритм.

N.S. SVIRNEVSKYI
Khmelnytskyi National University

ALGORITHM FOR RECONSTRUCTION OF THREE-DIMENSIONAL MODEL FROM IMAGES

This article describes an algorithm for 3D-reconstruction of the images, which is the decision of one of the many problems to be implemented through the composition of the matrix of affine transformation in homogeneous coordinates. The algorithm is described in the simplest case of an orthogonal projection, when the relative position of the cameras is determined by only 2 parameters. However, the algorithm can be easily generalized to cases where the relative position of the cameras is determined by a large number of options, including a central projection.

Keywords: 3D-reconstruction, geometry, modelling, matrix, transformation, algorithm.

Введение

Трехмерная реконструкция (англ. 3D reconstruction) – это процесс получения 3D объектов на основе изображений. На вход алгоритма обработки подается набор из нескольких изображений (два или более), результатом работы которого является 3D фотография (рис. 1).

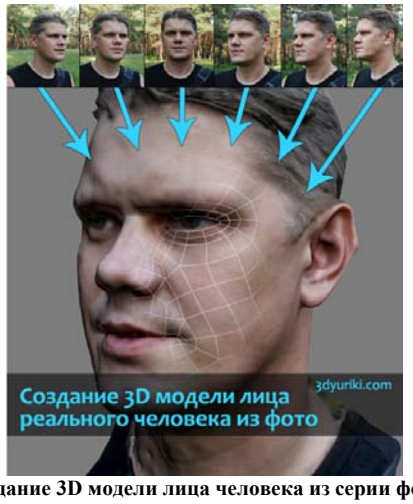


Рис. 1. Создание 3D модели лица человека из серии фотографий

Анализ исследований и публикаций

Известно большое количество научных публикаций, в которых излагается задача реконструкции трехмерных моделей по изображениям [1–5]. В них обычно рассматриваются алгоритмы, которые относятся к конкретным геометрическим образам и их изображениям. Мало публикаций с описанием алгоритма решения задачи 3D реконструкции, который демонстрирует взаимосвязь частных и общих решений между собой, позволяет глубже понять специфику задачи.

Формулирование цели

Разработать алгоритм 3D реконструкции по изображениям, который есть решением одной из множества задач, реализуемых через композицию матриц аффинных преобразований в однородных координатах, и легко обобщается от частного решения с минимальным количеством геометрических преобразований.

Изложение основного материала

Известно из начертательной геометрии, что по двум или более изображениям (проекциям) можно восстановить пространственный объект (рис. 2). Для этого достаточно установить на чертеже соответствие между точками изображений.

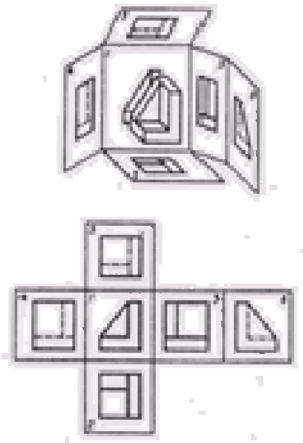


Рис. 2. Реконструкция трехмерного объекта по техническому чертежу

Задача восстановления формы пространственного объекта по нескольким двумерным изображениям имеет множество приложений в информационных технологиях. В частности, эта задача возникает при распознавании жестов человека или при создании реалистичной 3D модели лица человека из серии фотографий (см. рис. 1), которые получены в специальных системах видеонаблюдения (рис. 3).

Рис. 3. Система 3D видеонаблюдения

Задача восстановления формы пространственного объекта по нескольким фотографиям применяется на сегодняшний день во многих программных продуктах. Например, компания Autodesk выпустила приложение 123D Catch (рис. 4), позволяющее создавать трехмерные фотографии при помощи встроенной камеры планшета.

Рис. 4. Приложение Autodesk 123D Catch, позволяющее создавать трехмерные фотографии

В предыдущих публикациях [6, 7] автора этой статьи на основе достаточно наглядного и простого практического примера (сканирование рупорной антенны) демонстрируется механизм аффинных преобразований в пространстве. Рассматриваются прямая задача (построение изображений рупорной антенны) и обратная – восстановление параметров рупорной антенны по одному ее изображению. В этой статье на основе аффинных преобразований описывается алгоритм решения задачи реконструкции трехмерной модели по 2-м изображениям

Суть математического решения задачи восстановления пространственного объекта по его

изображениям заключается в описании проекций точек объекта в различных системах координат (СК) и в установлении взаимосвязи между этими СК (рис. 5). При проецировании пространственного объекта на плоскость теряется одна размерность (координата Z). Уравнения, которые устанавливают взаимосвязь между системами координат, позволяют восстановить ее. Поэтому, прежде всего, необходимо определить эти уравнения.

На рисунке 5 пространственный объект (рупорная антенна) описывается в двух СК, оси *Z* которых перпендикулярны к плоскостям проекций. В трёхмерном пространстве переход из одной координатной системы к другой описывается в общем случае системой линейных уравнений:

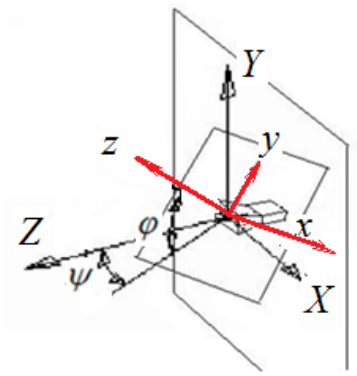


Рис. 5. Представление объекта в 2-х системах координат, связанных с плоскостями проекций

$$x^* = \alpha_1 x + \alpha_2 y + \alpha_3 z + \lambda$$
$$y^* = \beta_1 x + \beta_2 y + \beta_3 z + \mu$$
$$z^* = \gamma_1 x + \gamma_2 y + \gamma_3 z + \nu$$

$$\left(x^* y^* z^* 1\right) = \left(x\ y\ z\ 1\right) A$$

$$A = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 & 0 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 & 0 \\ \alpha_3 & \beta_3 & \gamma_3 & 0 \\ \lambda & \mu & \nu & 1 \end{pmatrix}$$

Для упрощения изложения рассматриваем частный случай, при котором положение одной СК относительно другой определяется только двумя параметрами – углами поворота относительно координатных осей (см. рис. 5).

Для решения задачи нам будут необходимы следующие базовые геометрические преобразования – матрицы поворота относительно осей *X* и Y (рис. 6) и матрица ортогонального проецирования на плоскость, перпендикулярную оси Z (рис. 7).

$$R_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & \sin\varphi & 0 \\ 0 & -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$R_y = \begin{pmatrix} \cos\psi & 0 & -\sin\psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\psi & 0 & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

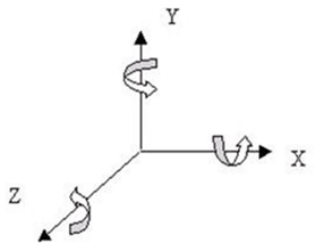


Рис. 6. Матрицы поворота относительно осей *X* и *Y*

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

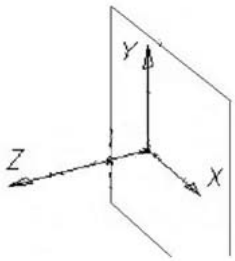


Рис. 7. Матрица ортогонального проецирования на плоскость, перпендикулярную оси Z

Положение вспомогательной СК *xyz* относительно главной *XYZ* (см. рис. 5) задается композицией 2-х матричных преобразований – вращения относительно оси *X* и вращения относительно оси *Y* (см. рис. 6):

$$B = R_x R_y$$

Для пересчета точек объекта в СК *xyz* необходимо получить обратную матрицу:

$$B^{-1} = R_y^{-1} R_x^{-1}$$

Обратные матрицы в этом случае представляют собой матрицы, обеспечивающие вращение с отрицательным углом:

$$R_y^{-1} = \begin{pmatrix} \cos\psi & 0 & \sin\psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\psi & 0 & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad R_x^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Результат перемножения двух обратных матриц и матрицы ортогонального преобразования дает следующий результат:

$$T_p^{-1} = \begin{pmatrix} \cos\psi & \sin\psi\sin\varphi & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & 0 & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi\sin\varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Преобразование координат точек из главной СК во вспомогательную СК в матричном представлении имеет вид:

$$(x\ y\ z\ 1) = (X\ Y\ Z\ 1)\, T_p^{-1}.$$

В итоге, уравнения преобразования точек пространственного объекта в точки текущего изображения запишутся в виде:

$$\begin{aligned} x &= X\cos\psi - Z\sin\psi \\ y &= X\sin\psi\sin\varphi + Y\cos\varphi + Z\cos\psi\sin\varphi \\ z &= 0 \end{aligned} \tag{1}$$

Систему уравнений (1) можно использовать для нахождения координаты Z каждой точки на главном изображении – точки с координатами (X,Y). Решение возможно, если известны параметры преобразования (значения углов) и координаты соответствующей точки (x,y) на вспомогательном изображении. Простейший алгоритм решения этой задачи:

1. Для каждой точки главного изображения (X,Y) определяем соответствующую точку на вспомогательном изображении (x,y), осуществляя итерацию координаты Z
2. Соответствующая точка найдена, если совпадают 3 цвета точек (RGB) на обоих изображениях.
3. Вместе с соответствующей точкой определяется и координата Z.

Для тестирования алгоритма восстановления 3D объекта по изображениям были разработаны программы, которые обеспечивают:

- генерацию изображений 3D объектов;
- загрузку файлов изображений и обработка точек изображений для определения координаты Z.

Для генерации изображений 3D объектов используется OpenGL приложение, которое позволяет создавать изображения разноцветного 3D треугольника. На рисунках 8 и 9 изображен треугольник с координатами вершин на осях *XYZ* – (1,0,0); (0,1,0); (0,0,1). На рисунке 8 изображение треугольника получено из точки (0,0,5), т.е. направление взгляда вдоль оси Z. На рисунке 9 изображение треугольника получено из точки (1.481, 2.5, 4.07), что соответствует углу вращения направления взгляда вокруг оси *Y* на 20 градусов против часовой стрелки и на 30 градусов вокруг оси *X* по часовой стрелке (см. рис. 5 и рис. 6).

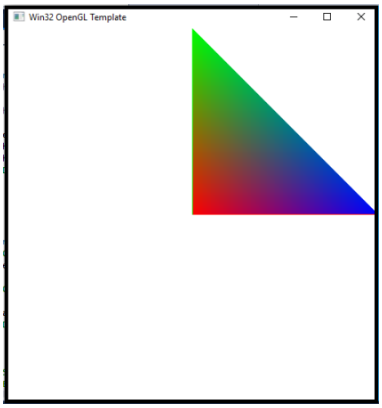


Рис. 8. Направление взгляда из точки (0,0,5)

Рис. 9. Направление взгляда из точки (1.481, 2.5, 4.07)

Оба изображения сохраняются через клавишу Prtsc в буферной памяти, а затем обрабатывается в графическом редакторе PAINT и сохраняются как BMP файл.

Для загрузки файлов изображений и обработки точек изображений для определения координаты Z используется программа, которая выполняет эти задачи средствами WinAPI через математический аппарат геометрических преобразований [6]. В программе используется алгоритм, рассмотренный выше.

При запуске программы и последовательном нажатии на клавиши 1 и 2 соответственно отображаются растровые изображения (см. рис. 8 и рис. 9). При нажатии на клавиши 3 и 4 появляются соответствующие этим изображениям 3D контуры сформированные из отрезков (рис. 10 и рис. 11). Контуры могут вращаться вокруг оси *Y* при перемещении мышки. В пределах этих контуров должны располагаться точки восстановленного по изображениям треугольника.

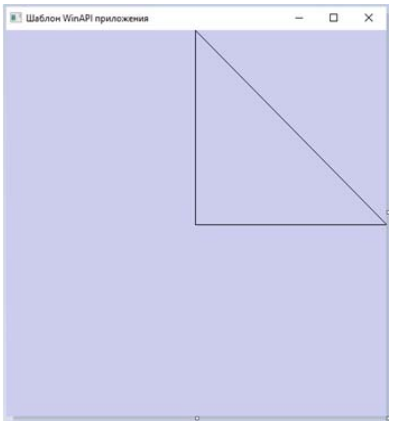


Рис. 10. Контуры 3D треугольника из точки (0,0,5)

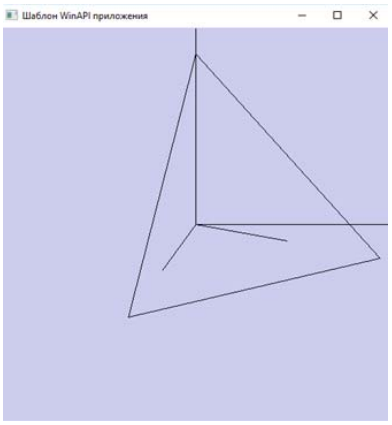


Рис. 11. Контуры 3D треугольника из точки (1.481, 2.5, 4.07)

При нажатии клавиши 5 визуализируются точки (рис. 12), у которых координаты *X* и *Y* совпадают с координатами точек треугольника считанного из BMP файла, но координата *Z* еще не определена (принято для всех точек Z=0).

При нажатии клавиши 6 визуализируется облако точек 3D треугольника (рис. 13). Если координата *Z* для точек определена правильно, то точки размещаются в пределах контура треугольника. При перемещении мышки точки вращаются вокруг оси *Y* вместе с контурами треугольника, что является дополнительным подтверждением того, что 3D объект успешно реконструирован по изображениям.

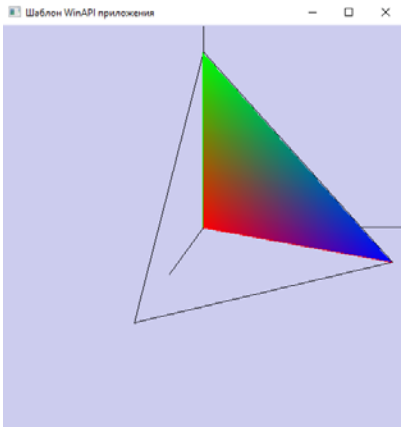


Рис. 12. Облако точек при z=0

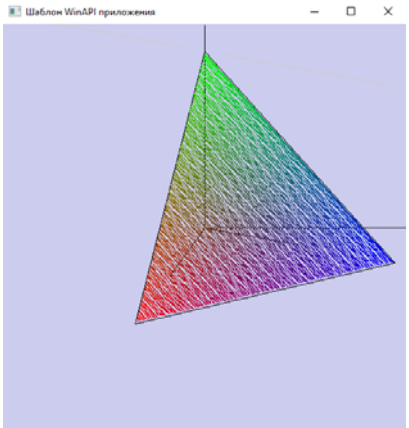


Рис. 13. Облако точек 3D треугольника

Рассмотренный выше алгоритм решения задачи трехмерной реконструкции по изображениям применим для случая, когда известно взаимное положение камер в системе 3D видеонаблюдения (см. рис. 3). Т.е., углы, определяющие взаимное расположение систем координат (см. рис. 5) в уравнениях (1) считались заданными.

В случае, когда фотографии получены с обычного фотоаппарата, взаимное положение камер неизвестно. Для этого случая система уравнений (1) может быть решена, если известны по 2 пары соответствующих точек на изображениях. Соответствующие точки могут быть указаны непосредственно при обработке фотографий каким-либо приложением (см. рис. 4), либо определены автоматически [8]. Такие точки выбираются из наиболее характерных точек изображений, например, для треугольника – его вершины.

Выводы

Рассмотренный в статье алгоритм решения задачи трехмерной реконструкции по изображениям прост и доступен для понимания, поскольку представлен как решение одной из множества задач,

реализуемых через композицию матриц аффинных преобразований в однородных координатах [6].

В статье алгоритм описан для простейшего случая ортогонального проецирования, когда взаимное положение камер определяется только 2-мя параметрами. Однако этот алгоритм может быть легко обобщен для случаев, когда взаимное положение камер определяется большим количеством параметров, включая и центральное проецирование.

Литература

1. Захаров А.А. Автоматическая реконструкция трехмерных объектов по техническому чертежу / А.А. Захаров // Программные продукты и системы. – 2011. – № 4. – С. 168–170.

2. Zakharov A.A. Synthesis algorithm of three-dimensional objects from video images using stereo correspondence / A.A. Zakharov, A.E. Barinov // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2015. – Vol. 25, № 1. – P. 117–121.

3. Zakharov A. Synthesis of three-dimensional models from drawings based on spectral graph theory / A. Zakharov, A. Zhiznyakov // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 756. – P. 598–603.

4. Жук Д.В. Восстановление трёхмерной модели сцены по цифровым изображениям / Д.В. Жук, А.В. Тузиков, А.В. Бородач // Искусственный интеллект. – 2006. – № 2. – С. 142–146.

5. Аленин В. А. Трехмерная реконструкция объектов из последовательности изображений / В.А. Аленин // Молодой ученый. – 2011. – № 3. Т. 1. – С. 33–36.

6. Свирневский Н.С. Основы разработки графических приложений / Н.С. Свирневский, С.С. Ковальчук. – Хмельницкий : ХНУ, 2015. – 270 с.

7. Свирневский Н.С. Восстановление параметров пространственного объекта по изображению / Н.С. Свирневский // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2011. – № 6. – С. 74–78.

8. Борисенко Д.И. Методы поиска угловых особенностей на изображениях / Д.И. Борисенко // Молодой ученый. – 2011. – № 5. Т. 1. – С. 120–123.

Рецензія/Peer review : 14.2.2017 р. Надрукована/Printed :26.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сорокатый Р.В.

УДК 617.741-007.21

І.Г. ЧИЖ, В.Є. МИРОНОВИЧ, Я.В. КОПИЛОВ
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЕВОЛЮЦІЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИЧНОЇ СИЛИ ІНТРАОКУЛЯРНОЇ ЛІНЗИ, ЩО ІМПЛАНТУЄТЬСЯ В ОКО ПІД ЧАС ХІРУРГІЇ КАТАРАКТИ

В роботі зроблено огляд методів та всіх чотирьох поколінь формул розрахунків оптичної сили інтраокулярної лінзи, що імплантується в око при лікуванні катаракти. Наведені переваги та недоліки методів. Показано, що головною перепоною точним розрахункам оптичної сили є поки ще неподолана передопераційна невизначеність післяопераційного розташування лінзи в оці. Передбачається, що методом вирішення вказаної проблеми є поєднання результатів передопераційної біометрії та додаткової біометрії в момент операції після видалення кришталика.

Ключові слова: оптична сила інтраокулярної лінзи, методи та формули розрахунків.

I.G. CHYZH, V.E. MYRONOVYCH, Y.V. KOPYLOV
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

EVOLUTION OF METHODS FOR DETERMINATION THE OPTICAL POWER OF INTRAOCULAR LENS THAT IS IMPLANTED IN THE EYE AT CATARACT SURGERY

This article reviews the methods and all four generations formula for calculating the optical power of intraocular lens that is implanted in the eye for cataract's treatment. These advantages and disadvantages of methods have been reviewed as well. The research article is shown that the main obstacle to accurate calculation of optical power is preoperative uncertainty of postoperative location of the lens in the eye. We assume that by solving this problem is to combine the results of preoperative biometry and additional biometrics at the time of surgery after the removal crystalline lens.

Keywords: intraocular lens power, methods of calculation and formulas.

Вступ

Катаракта (помутніння кришталика) доволі поширена патологія зорового органу серед людей похилого віку. Метод лікування катаракти – хірургічний [1, 2]. При хірургії катаракти видаляють природний кришталик, а на його місце імплантують штучний – інтраокулярну лінзу (ІОЛ). Хірургія катаракти є поширеною операцією. Тільки в Україні кожного року імплантують більше ста тисяч ІОЛ, а у світі ця кількість становить десятки мільйонів. До цього числа додаються також операції імплантації штучних кришталиків у випадках втрати функцій природного кришталика через травми ока.

На цей час створено велику кількість різноманітних за своєю конструкцією кришталиків, які повертають оку навіть здатність до акомодації [3]. Проте переважна більшість (>90%) імплантованих ІОЛ має фіксовану оптичну силу, через що око з такою ІОЛ акомодаційну здатність втрачає. При цьому пацієнт вимушений користуватися окулярами для спостережень віддалених об’єктів, чи навпаки, об’єктів, розташованих поблизу.

Передопераційна підготовка хірургії катаракти передбачає визначення значення Р – оптичної сили ІОЛ, яка забезпечить оку бажану для пацієнта післяопераційну рефракцію. Під цим розуміється чіткий зір ока з імплантованою ІОЛ без окулярів на даль чи на коротку відстань, наприклад, при читанні книг чи при роботі з комп’ютером. Пацієнтам більш молодого віку, як правило, забезпечують еметропічну рефракцію для чіткого зору на даль, а для пацієнтів похилого віку нерідко прийнятною вважається міопічна рефракція в діапазоні (2…3) діоптрії.

Для визначення потрібної оптичної сили ІОЛ розроблено велику кількість біометричної апаратури, та створено вже чотири покоління спеціальних формул розрахунку Р за результатами біометрії ока. Однак і досі точне визначення потрібного персоніфікованого значення Р для ока конкретного пацієнта залишається до кінця невирішеною проблемою. Так при допустимій похибці післяопераційної рефракції у діапазоні ±0.25 діоптрій (дптр), що відповідає кроку 0.5 дптр оптичної сили ІОЛ, з яким вони виробляються, поширене значення фактичної похибки рефракції знаходиться в інтервалі ± 1 дптр, а трапляється і до ±3 дптр. При такій похибці пацієнт має користуватися декількома парами окулярів, що вважається невдалим результатом імплантації ІОЛ. З огляду на те, що імплантація ІОЛ навіть в Україні коштує від $500 до $1000, невдалий результат є дуже небажаним як для пацієнта, так і для хірурга-офтальмолога.

В даній роботі викладаються результати аналітичного огляду існуючих методів визначення Р ІОЛ з аналізом їх переваг і недоліків. Мета аналізу – прогнозування тенденцій і шляхів подальшого вдосконалення цих методів.

Постановка задачі

Непрозорість патологічного, враженого катарактою, кришталика є специфічною умовою, при якій потрібно передопераційно визначати оптичну силу ІОЛ, що імплантується в око. Непрозорість кришталика слугує головною перепоною для використання високоточних оптичних приладів і методів при вимірюваннях внутрішніх оптичних та геометричних параметрів оптичної системи ока. У таких випадках використовують ультразвукову біометрію. Проте акустичний метод вимірювань відрізків ока з повністю непрозорим кришталиком поступається точністю методу оптичної томографії.

Деякі з параметрів, наприклад, показники заломлення природних оптичних середовищ ока, розподіл показника заломлення у природному кришталику в його нормальному стані та показники заломлення скловидного тіла взагалі не вимірюються на живому оці. А тому при розрахунках значень потрібної оптичної сили ІОЛ використовують середньостатистичні значення вказаних показників заломлення, що призводить до методичних похибок визначення Р.

Неможливо точно відтворювати геометричну форму патологічного природного кришталика, а тому перед імплантацією ІОЛ досить проблематично заздалегідь точно прогнозувати її розташування в оці пацієнта. Причиною є недоступність інформації про геометричну форму внутрішньої поверхні кришталикового міхура після капсулорексіса та факоемульсіфікації катаракти та пов'язану з цим неможливість передбачити зчеплення гаптики ІОЛ з такою поверхнею, яким обумовлюється осьове розташування ІОЛ в оці пацієнта.

Післяопераційна довжина ока вздовж візуальної осі не завжди збігається з виміряною передопераційною довжиною через зміну величини очного внутрішнього тиску.

Можливим є переміщення ІОЛ в оці вздовж візуальної осі внаслідок післяопераційного стиснення капсульного міхура і гаптики ІОЛ, особливо при великому діаметрі зони капсулорексіса.

Проникнення інструментів через склеру при хірургії катаракти неодмінно спотворює форму зовнішньої поверхні рогівки, надаючи їй додаткову післяопераційну циліндричність. Таке спотворення не може бути заздалегідь точно прогнозованим.

Дані від виробника ІОЛ про величину Р конкретної моделі можуть бути істотно неточними.

Всі ці та інші фактори перешкоджають точному підбору ІОЛ. Наслідком є відхилення рефракційного стану прооперованого ока від запланованого.

Потреби подолання перешкод, що чинять вказані фактори, обумовлювали сутність методів розрахунку персоніфікованого значення Р ІОЛ та логіку розвитку цих методів. Тому задачею даної роботи є огляд розвитку методів, а також умов коректного застосування цих методів.

Про методи визначення персоніфікованого значення Р інтраокулярної лінзи

Відомі на цей час методи, формули і алгоритми розрахунку персоніфікованого значення оптичної сили інтраокулярної лінзи можна розділити на декілька груп за ознакою передньокамерної чи задньокамерної імплантації ІОЛ в око, а також за ознакою походження формул для розрахунків Р – теоретичного чи емпірично-регресійного.

Потрібно підкреслити, що переважна більшість імплантацій здійснюється у задню камеру, тобто у міхур природного кришталика, після видалення кришталика із міхура. Тому майже алгоритми розрахунку Р розроблені переважно для імплантацій ІОЛ у задню камеру.

Точний розрахунок значення Р потребує наявності точних даних про геометричні та оптичні параметри оптичних елементів та оптичних середовищ конкретного ока. Так у першу чергу необхідно мати дані про параметри геометричної форми передньої поверхні рогівки після факоемульсіфікації, довжину ока вздовж візуальної осі, розташування ІОЛ в оці вздовж візуальної осі, геометричні та оптичні параметри самої ІОЛ, показники заломлення рідини, яка буде заповнювати передню камеру після операції та показник заломлення скловидного тіла.

Згідно існуючого порядку такі дані отримують до операції за результатами біометричних досліджень ока пацієнта.

Починаючи з кінця 60-х років попереднього століття було створено декілька поколінь формул розрахунку оптичної сили ІОЛ [4–6]. Формули теоретичної групи ґрунтувалися на використанні теорії оптики параксіальних променів (гаусової оптики). Для цього було достатньо мати дані про радіус передньої поверхні рогівки, довжину ока (довжину передньо-заднього відрізка), положення ІОЛ відносно рогівки та усереднений показник заломлення прозорих середовищ ока. Але дані про розташування ІОЛ в оці при цьому методі були гіпотетичними, тобто теоретично прогнозованими. Це й слугувало головною причиною помилок післяопераційного стану рефракції ока та мотивом для пошуку інших, більш точних формул, що й привело до появи групи регресійних формул розрахунку персоніфікованих значень Р.

Назву регресійних вони отримали через застосування методу найменших квадратів щодо апроксимації функції, значення якої отримано експериментально при дії всякого роду завад і невизначеності деяких параметрів. Таку апроксимацію називають регресійною. Масивом даних для створення регресійних формул були результати біометрії ока, розрахунків Р за існуючими теоретичними формулами, виявлені похибки післяопераційної рефракції. Апроксимаційні коефіцієнти, як виявилося, можуть вказувати на більш вірогідне розташування ІОЛ в оці пацієнта на основі даних про довжину ока, глибину передньої камери, геометричних параметрів рогівки та конструктивних властивостей конкретної моделі ІОЛ.

Проте одним з найбільших недоліків регресійних формул є те, що вони не дають 100% гарантії точного визначення потрібного значення Р ІОЛ в першу чергу тому, що всі вони отримані з обмежених масивів даних, належних конкретним типам очей пацієнтів.

За класифікацією Holladay, перше покоління формул – точні оптичні та лінійні регресійні (Фьодоров, Binkhorst та ін.); друге покоління формул – теоретичні формули з уточнюючими параметрами (Binkhorst-II, Hoffer та ін.) та нелінійні регресійні формули (SRK II, Donzis-Kastl-Gordon та ін.); третє покоління формул – розрахунок ІОЛ з обчисленням персоніфікованого фактора для конкретного типу лінзи (Holladay 1, Hoffer Q та ін.); а також четверте (Haigis, SRK/T, Barret та ін.), яке характеризується наявністю

декількох констант, отриманих за результатом багатофакторного регресійного аналізу (Haigis) та більш точними оптимізованими показниками [6–8].

Найбільшою популярністю в даний час користуються формули і алгоритми розрахунків оптичної сили ІОЛ, авторами яких є Hoffer Q, Holladay 1, SRK / T, Barret [9–12].

Перше покоління формул

З поширенням інтраокулярної корекції афакії актуалізувалося питання індивідуального підбору оптичної сили ІОЛ. Формула розрахунку персоніфікованої оптичної сили ІОЛ, заснована на законах оптики і даних схематичного ока після проведеної екстракції катаракти та імплантації ІОЛ, вперше була опублікована у 1967 році [4, 5]. Для обчислення Р вимірювалися необхідні параметри: радіуси кривизни рогівки, її діаметр та довжина ока. Довжину ока визначали рентгенологічним методом, тому що широке застосування ультразвукової біометрії почалося тільки у 1972–1975 роках. Формула розрахунку Р ІОЛ була теоретичною. Вона дозволяла знайти рефракцію тонкої лінзи, що забезпечує фокусування зображення віддаленого предмета на сітківці. Але з того моменту і до теперішнього часу існує одне з головних питань – в якому місці вздовж осі розташується імплантована ІОЛ відносно рогівки чи сітківки. Точність прогнозування положення ІОЛ після імплантації має критичне значення при визначення Р ІОЛ. Нажаль і сьогодні не існує простої і достатньо достовірної методики передопераційного прогнозування відстані від вершини рогівки до площини, в якій буде перебувати ІОЛ**.**

Формули першого покоління створили Федоров, Gernet, Hoffer, Leary, Loyd, Oguchi, Ostholt, Rosenblum, Shammas; Colenbrander, Epstein; Thijssen; Van Der Heijde, Wang; C. Binkhorst, R. Binkhorst.

Базовими формулами першого покоління є такі:

формула Федорова [4]:

$$P = \frac{1336 - LK}{(L - C)(1 - \frac{CK}{1336})}; \quad (1)$$

формула Binkhorst [5, 12]:

$$P = \frac{1336(4r - L)}{(L - C)(4r - C)}; \quad (2)$$

формула Colenbrander-Hoffer [13]:

$$P = \frac{1336}{L - C - 0.05} - \frac{1336}{\frac{1336}{K} - C - 0.05}, \quad (3)$$

де P – оптична сила ІОЛ (у діоптріях) для досягнення післяопераційної еметропії;

L – осьова довжина ока (AL) (в мм);

$K = \frac{336}{r}$ –оптична сила передньої поверхні рогівки (в діоптріях);

C – післяопераційна глибина передньої камери (ACD) + рогівкова товщина, що є відстанню від передньої поверхні рогівки до ІОЛ (в мм);

r –середнє арифметичне значення радіусу рогівки (в мм).

Формули (1) – (3) можуть бути математично представлені в загальному вигляді [14]:

$$\mathrm{P} = \frac{N}{(L - C)} - \frac{N \cdot K}{N - KC}, \quad (4)$$

де N=1336 – показник заломлення склоподібного тіла і водянистої вологи помножений на 1000.

Проте наведені теоретичні формули мають істотні недоліки, а саме:

- вони призводять до неприйнятних післяопераційних рефракційних похибок при їх застосуванні до довгих і коротких очей, хоча вони виявляються достатньо точними для очей з осьовою довжиною ока (AL) між 22 мм і 24.5 мм [14];
- при застосуванні таких формул для отримання точного кінцевого результату необхідно мати точне значення глибини передньої камери ока C (ACD), що є достатньо проблематичним. Це й послужило поштовхом для створення "регресійних" формул, першою з яких стала SRK I, а в подальшому й другого покоління – формули SRK II, Donzis-Kastl-Gordon, Gills та інші.

Регресійні формули створювалися на основі клінічного матеріалу імплантацій і передопераційних біометричних даних. Післяопераційні результати використовувалися для пошуку методом регресії апроксимаційної функції залежності Р ІОЛ від передопераційної біометрії та післяопераційних результатів. Коефіцієнти апроксимації знаходилися методом найменших квадратів. Одним з таких коефіцієнтів є константа А, яка враховує дані біометрії ока та конструктивні властивості конкретної моделі ІОЛ, враховуючи найбільш прогнозоване осьове розташування цієї моделі в оці пацієнта [15]. Проте отримані у такій спосіб регресійні формули та апроксимаційні коефіцієнти можуть відрізнятися між собою, якщо при їх створенні використовуються дані від різних нозологічних груп пацієнтів.

Формула SRK I. Наближену лінійну регресійну формулу SRK I отримали американські автори Сандерс і Крафт для визначення без урахування товщини ІОЛ її оптичної сили Р у рідині [15]:

$$P = A - 2{,}5L - 0{,}9K, \quad (5)$$

де A – апроксимаційний коефіцієнт (A-константа) є залежним від моделі ІОЛ і експериментально встановленого найбільш вірогідного її розташування вздовж візуальної осі в оці пацієнта, апроксимаційні коефіцієнти -2,5 та -0,9 у виразі (5) є константами. Для існуючих моделей ІОЛ усереднене значення A становить ≅115 при імплантації ІОЛ у передню камеру, та ≅116.8 при імплантації ІОЛ у задню камеру; L – осьова довжина ока (в мм); K – середнє арифметичне значення (в діоптріях) оптичної сили передньої поверхні рогівки.

Якщо оптична сила ІОЛ має у повітрі оптичну силу $P_{пов}$, то у рідині з показником заломлення n_p вона має оптичну силу, розраховану за формулою (6), [16]:

$$P = \frac{n - n_p}{n - 1} \cdot P_{пов}, \tag{6}$$

де P – оптична сила ІОЛ у рідині; n – показник заломлення матеріалу ІОЛ; n_p – показник заломлення рідини; $P_{пов}$ – оптична сила ІОЛ у повітрі.

Друге покоління формул

Формула SRK II. Простота лінійної регресійної формули SRK I, яка отримана за рахунок використання емпіричних даних, зробило її дуже популярною. Але згодом виявилося, що ця формула є достатньо точною лише при її використанні для очей з довжиною $22\text{ мм} \le L < 24{,}5\text{ мм}$, і втрачає прийнятну точність при її застосуванні для «коротких» та «довгих» вздовж осі очей. Тому з'явилася модифікована формула SRK II, яка зовні не відрізняється від формули (5), але в ній значення константи A варіюється залежно від довжини ока $A + \Delta_a(L)$, [17]:

$A + 3$ для $L < 20$ мм ; $A + 2$ для $20\text{ мм} \le L < 21$ мм ; $A + 1$ для $21\text{ мм} \le L < 22$ мм ; $A - 1$ для $L > 24{,}5$ мм .

Формула SRK II на свій час забезпечувала високу ступінь точності прогнозування без будь-яких додаткових витрат з точки зору часу або грошей для користувачів оригінальної SRK формули. Константи, що використовуються в формулі, могли бути легко змінені хірургом в залежності від параметрів ока пацієнта, і таким чином сприяти офтальмологу більш точно прогнозувати оптичну силу ІОЛ.

Формула Binkhorst II. R.D. Binkhorst у 1981 році запропонувавши формулу (7) поліпшив прогноз післяопераційного положення ІОЛ в оці, [18, 19]:

$$P = \frac{1000 n_2 \{(1000 - VR_s)(n_2 r - (n_1 - 1)L_2) - rR_s L_2\}}{(L_2 - D)\{(1000 - VR_s)(n_2 r - (n_1 - 1)D) - rR_s D\}}, \tag{7}$$

де P – оптична сила ІОЛ (у діоптріях); n_2 – показник заломлення рогівки (1.333); V– відстань між задньою поверхнею пробної лінзи та передньою поверхнею рогівки (12 мм); Rs – післяопераційна рефракція ока; r – середній радіус кривизни рогівки (радіус мм); n_1 – показник заломлення водянистого та скловидного тіла (1.336); $L2$ – післяопераційна осьова довжина ока в (мм); D – післяопераційна глибина передньої камери (в мм).

Новим етапом в розрахунках оптичної сили ІОЛ стало використання у теоретичних формулах деяких коефіцієнтів, що характеризують розташування ІОЛ, розрахованих за емпіричними даними – змішані формули [11]. Їх широкому використанню сприяла можливість автоматизації розрахунків P за допомогою комп'ютерів, які сьогодні є звичайним атрибутом вимірювального офтальмологічного приладу.

Третє покоління формул

Друге покоління формул все ж давали рефракційні помилки. Це призвело до розробки третього покоління так званих "змішаних" формул. Вони базувалися на "точних" оптичних формулах, але в них використовувалися деякі додаткові коефіцієнти і поправки, отримані емпірично, які були відсутніми у формулах другого покоління. До формул третього покоління відносять формули Holladay, Hoffer Q, SRK / T , та ін..

Формула Holladay. Саме Holladay J.T**.** з 1988 року поклав початок третього покоління формул. Він ввів поняття SF - хірургічного фактора, що є відстанню між площиною райдужки і головною площиною ІОЛ, яке встановлюється емпірично за статистичними даними результатів імплантацій. Відстань SF рекомендувалася для подальшого застосування в якості атрибута конкретної моделі ІОЛ як і константа A. Зв'язок між SF та A був представлений формулою:

$$SF = 0{,}5663A - 65{,}6 \tag{9}$$

При цьому формула знаходження оптичної сили ІОЛ отримала вигляд [6]:

$$P = \frac{1000 n_a \{X - 0.001REF(V \cdot X + L2 \cdot r)\}}{(L2 - C2 - SF)[Y - 0{,}001REF\{V \cdot Y + r(C2 + SF)\}]} \tag{10}$$

де $X = n_a \cdot r - L_2(n_c - 1)$; n_a – показник заломлення рідкого та склоподібного тіла; $X = n_a \cdot r - L_2(n_c - 1)$; REF - післяопераційне очікуване значення рефракції ока; V – відстань між задньою поверхнею пробної лінзи офтальмологічної, встановленої перед оком, та передньою поверхнею рогівки; $L2$ – коригована осьова довжина ока (мм); r – середня кривизна рогівки; $C2$ – анатомічна дистанція між піком рогівки ока та райдужною оболонкою; SF – дистанція від райдужної оболонки до оптичного центру імплантованої ІОЛ (мм); $Y = n_a \cdot r - (n_c - 1)(C2 + SF)$.

$$C2 = 0.56 + Rag - \sqrt{Rag^2 - \frac{AG^2}{4}}\ ; \tag{11}$$

де $r < 7 \to Rag = 7$, $r \geq 7 \to Rag = r$, $AG = \frac{12.5L}{23.45}$, $AG > 13.5 \to AG = 13.5$.

Персоніфіковане значення дистанції *SF* розраховується за формулою (12), а її складові розписані виразами (13–18):

$$SF = \{-BQ - \frac{\sqrt{BQ^2 - 4AQ \cdot CQ}}{2AQ}\} - C2\,, \tag{12}$$

$$BQ = 0.001AREF\{L2 \cdot V\{(nc-1) - r(L2 - V \cdot na)\} - \{L2(nc-1) + na \cdot r\}\,, \tag{13}$$

$$AQ = (nc-1) - 0.001AREF\{V(nc-1) - r\}\,, \tag{14}$$

$$CQ = CQ3 - CQ2, \tag{15}$$

$$CQ3 = L2 \cdot na \cdot r - 0.001AREF \cdot L2 \cdot V \cdot r \cdot na, \tag{16}$$

$$CQ2 = \frac{1000na\{na \cdot r - L2(nc-1) - CQ1\}}{P}, \tag{17}$$

$$CQ1 = 0.001AREF[V\{na \cdot r - L2(nc-1)\} + L2 \cdot r], \tag{18}$$

де *C*2 - анатомічна дистанція між піком рогівки ока та райдужною оболонкою; $AREF = S + \frac{C}{2}$ - оптична сила, еквівалентна післяопераційній рефракції (дптр); *S*– оптична сила (сфера) у (дптр); *C* – оптична сила (циліндр) у (дптр).

Holladay J.T порушив питання необхідності стандартизації біометрії та кератометрії для підвищення точності розрахунків Р ІОЛ. Він проаналізував вплив конструктивних параметрів ІОЛ на помилки вказаних розрахунків та створив список більш ніж 800 зареєстрованих моделей ІОЛ зі значеннями констант *A, ACD і SF*, які часто виробниками ІОЛ спотворюються, тому що визначаються не за клінічними даними, а за параметрами аналогічних лінз. Проте навіть клінічні дані не гарантують помилок при визначенні вказаних констант, бо вони змінюються при зміні методу екстракції катаракти та способу фіксації ІОЛ, а це означає, що вони не можуть вважатися незмінними константами [6].

Формула Hoffer Q. Ця формула є модифікацію основної формули Colenbrander [9]:

$$\mathrm{P} = \frac{1336}{L - C - 0{,}05} - \frac{1{,}336}{\frac{1{,}336}{K + R} - \frac{C + 0{,}05}{1000}}\,, \tag{19}$$

де *P*– оптична сила ІОЛ (дптр); *L*– осьова довжина ока (мм); *C*– післяопераційна довжина передньої камери ока, що відображає її персоніфіковане значення *persACD,* та знаходиться за виразом (20); *K*– середнє значення оптичної сили рогівки (дптр); R – післяопераційна рефракція ока в площині рогівки (дптр).

$$C = X + Y \tag{20}$$

де $X = C1 + 0.3(L - 23.5) + (tgK)^2$;

$Y = 0.1M(23.5 - L)^2 tg\{0.1(G - L)^2\} - 0.99166$;

$L \leq 23 \to M = +1, G = 28; L > 23 \to M = -1, G = 23.5; L > 31 \to L = 3; L < 18.5 \to L = 18.5$;

$C1 = persACD = 0.5(L + N - \sqrt{(L - N)^2 + \frac{4 \cdot 1336(N - L)}{P}}) - 0.05$ – персоніфіковане значення *ACD* (мм);

$$N = \frac{1336}{K + AR}\,;\ AR = \frac{ARx}{1 - 0.012ARx}\,.$$

Значення *persACD* визначається положенням конкретного типу ІОЛ щодо вершини рогівки є атрибутом конкретного типу ІОЛ і його можна обчислити, знаючи хірургічний фактор *SF*, за емпіричною формулою [8]:

$$persACD = \frac{(SF + 3{,}595)}{0{,}9704}\,. \tag{21}$$

Формула SRK / T. Це нелінійна теоретична формула, емпірично оптимізована для післяопераційного значення *ACD*, товщини сітківки ока, і показника заломлення рогівки. Оцінювана післяопераційна значення *ACD* розраховується за формулами [11]:

$$ACD \text{ прогнозована} = H + \text{зміщення} \tag{22}$$

$$\text{Зміщення} = ACD - 3{,}336 \tag{23}$$

Уява про післяопераційне значення ACD прогнозована заснована на гіпотезі, що ІОЛ знаходиться на постійній відстані від розрахункової площині райдужки. *ACD* (константа) може бути знайдена,

використовуючи А-константу [5]:

$$ACD = (0{,}62467 \cdot A) - 68{,}747 \tag{24}$$

Висота рогівкового купола H являє собою відстань між рогівкою і площиною райдужної оболонки ока і обчислюється за формулою:

$$H = r - \sqrt{r^2 - \frac{W^2}{4}} \tag{25}$$

де H – висота купола рогівки; r – середнє значення радіусу поверхні рогівки (мм) $r = \frac{337.5}{K}$; W – поперечний діаметр рогівки.

Формула SRK / T використовує ту ж саму A-константу, яка була спочатку розроблена для лінійного рівняння SRK. A-константа включає кілька змінних, які містять інформацію про модель імплантату, техніку хірурга, імплантацію всередині ока і вимірювальне обладнання [20].

$$A = \frac{(-b + \sqrt{b^2 - 4ac})}{2a}, \tag{26}$$

де $a = 0.62467^2 \alpha$; $b = 0.62467\{2\alpha(H - 72.083) + \beta\}$; $c = \alpha(H - 72.083)^2 + \beta(H - 72.083) + \gamma$;

$\alpha : P(1 - nc) + 0.001P \cdot REF\{V(nc - 1) - r\}$;

$\beta : P[na \cdot r + L1(nc - 1) + 0.001REF\{L1 \cdot r + V \cdot L1(1 - nc) - na \cdot V \cdot r\}]$;

$\gamma : na[1000X - P \cdot L1 \cdot r + REF\{0.001P \cdot V \cdot L1 \cdot r - (V \cdot X + L1 \cdot r)\}]$.

Формули оптичної сили ІОЛ при еметропічній післяопераційній рефракції ока [11]:

$$P = \frac{1000na \cdot X}{(L1 - C1)Y}; \tag{27}$$

при аметропічній післяопераційній рефракції ока:

$$P = \frac{1000n_a\{X - 0.001REF(V \cdot X + L1 \cdot r)\}}{(L1 - C1)\{Y - 0{,}001REF(V \cdot X + C1 \cdot r)\}}, \tag{28}$$

де n_a – показник заломлення рідкого та твердого тіла (1,336);

$$X = na \cdot r - L1(nc - 1);$$

REF– очікувана післяопераційна рефракція ока (дптр);

V– відстань між задньою поверхнею пробної офтальмологічної лінзи та передньою частиною рогівки (мм), $V = 12$.

$$L1 = 0{,}65696 - 0{,}02029L;$$

r - середня кривизна рогівки (мм);

$C1 = H + Ofst$ – післяопераційне очікуване значення глибини передньої камери ACD (мм);

$$Y = na \cdot r - C1(nc - 1);$$

n_c – показник заломлення рогівки (1,333);

H – висота купола рогівки; $Ofst$ – розрахована відстань між райдужною оболонкою та оптичною поверхнею імплантованої ІОЛ, включаючи товщину рогівки (мм); $W = -5.41 + 0.58412LC + 0.098K$ – розрахункова товщина рогівки (мм),

якщо $L \le 24.2 \to LC = L$; при $L > 24.2 \to LC = -3.446 + 1.716 - 0.0237L^2$.

Четверте покоління формул

Формула Haigis. У 1991 році формула Haigis стала одною з основних формул четвертого покоління розрахованою для того, щоб подолати недоліки, які є наслідками базових припущень третього покоління формул. Формула Haigis не залежить від припущень щодо глибини передньої камери ока та вимагає реального виміру цього параметру. Крім того, формула Haigis не просто має одну "константу", а нараховує в своєму складі одразу три ($a0$, $a1$, $a2$), отримані за допомогою багатопараметричного регресійного аналізу[13]:

$$P = \frac{1000na}{L - d} - \frac{na}{\frac{na}{Z} - \frac{d}{1000}}, \tag{29}$$

$$Z = K + \frac{REF}{1 - \frac{REF \cdot V}{1000}}, \tag{30}$$

де $d = a0 + a1 \cdot ACD + a2 \cdot L$ (ACD $\neq 0$)

$$\mathrm{d} = (a0 - 0.241 \cdot a1) + (a2 + 0.139 \cdot a1)L \qquad (\mathrm{ACD} = 0)$$

$a0 = 0.62467A - 72.434$. Константа $a0$ впливає на результат розрахунку P аналогічно впливу A-

константи, хірургічного фактору *SF*, або *ACD* у формулах SRK / T, Holladay і Hoffer Q формул;

$a1 = 0.4$. Константа $a1$ прив'язана до виміряної глибини передньої камери;

$a2 = 0.1$. Константа $a2$ прив'язана до вимірюваної осьової довжини.

Параметр *d* означає ефективне розташування ІОЛ в оці, тобто відстань між передньою поверхнею рогівки та передньою головною площиною ІОЛ. У літературних джерелах його часто позначають абревіатурою *ELP*.

$$REF = \frac{1000(1000Y - K \cdot X)}{V(1000Y - K \cdot X) + 1000X}; \quad (31)$$

де *REF* – очікуване значення післяопераційної рефракції ока (дптр);

$Y = na(1000 \cdot na - L \cdot P + d \cdot P)$;

$K = \frac{1000(nc - 1)}{r}$ – оптична сила передньої поверхні рогівки (дптр);

$X = a2 \cdot P + 1000L \cdot na - d \cdot L \cdot P$.

У неоптимізованому вигляді формула Haigis має точність, близьку до формули Hoffer Q.

Персоналізація А-константи ІОЛ здійснюється за допомогою формул (32) та (33):

$$A = d\text{-}a1 \cdot ACD - a2 \cdot L + 72.434 \qquad (ACD \neq 0), \quad (32)$$

$$A = \frac{d\text{-}L(a2 + 0.139 \cdot a1) + 0.241 \cdot al + 72.434}{0.62467} \qquad (ACD = 0), \quad (33)$$

де $$d = \frac{P(L \cdot Z + 1000na) - \sqrt{P^2(L \cdot Z + 1000na)^2 - 4P \cdot Z(1000L \cdot na \cdot Z + 1000L \cdot na \cdot P - 1000^2 \cdot na^2)}}{2P \cdot Z}$$

Щоб підвищити точність розрахунку *P*, формула Haigis спочатку повинна бути повністю оптимізована за всіма трьома константами. Оптимізація формули Haigis починається із збору перед- і післяопераційних даних сотень пацієнтів. За допомогою регресійного аналізу $a0$, $a1$ і $a2$ константи розраховуються індивідуально, налаштовуючи прогнозування оптичної сили ІОЛ таким чином, щоб максимально наблизитись до точних результатів в широкому діапазоні осьових довжин і передньої глибині камери. У програмному забезпеченні IOLMaster, є можливість вводу всіх трьох оптимізованих констант після того, як вони будуть знайдені [21].

Формула Holladay II. Формула Holladay II вважається однією з найточніших формул. Програмне забезпечення в усіх сучасних біометрах містить для використання цю формулу, як одну з ефективніших.

Формула Holladay II отримана у 1998 році. Вона є однією з формул четвертого покоління. В ній зроблена спроба враховувати всі фактори для визначення осьової довжини ока шляхом включення якомога більшого масиву даних біометрії ока. Формула Holladay II використовує такі дані, як горизонтальний діаметр райдужної оболонки (WtW), діаметр рогівки, глибина передньої камери ACD, товщина лінзи, передопераційна рефракція і навіть вік пацієнта. Ця інформація ефективно працює як система розпізнавання образів.

Було встановлено, що формула працює з високою точністю для великої різноманітності очей пацієнтів. Формула Holladay II залишається теоретичною, але ґрунтується на даних з 35000 пацієнтів, зібраних у 35 дослідницьких центрах. Сама формула не опублікована, але використовується в програмах та приладах для розрахунку оптичної сили ІОЛ[21].

Формула Barrett. Формула G. D. Barrett заснована на теоретичній моделі ока, в якій глибина передньої камери пов'язана із осьовою довжиною ока та результатами кератометрії рогівки. Зв'язок між А-константою та «фактором ІОЛ» також використовується для визначення глибини передньої камери. Сама ІОЛ у формулах представлена своїми головними площинами, тому хірургу не потрібно знати матеріал та конструкцію ІОЛ. Автор стверджує, що перевірка формули на 100 пацієнтах із груп з короткими, середніми та довгими очами показала більш точні результати визначення Р, ніж за формулами третього покоління Holladay та SRK / T. Свої формули автор називає універсальними, проте алгоритм і самі формули автор не публікує [22].

Порівняльний аналіз результатів визначення Р за різними формулами

В таблиці наведені результати визначення Р ІОЛ, отримані з використанням біометрії на ІОЛ-Мастер фірми Zeiss на обох очах 10 пацієнтів. Довжини очей, як видно, відносяться до всіх типів – «коротких», «нормальних» та «довгих». Дані біометрії осереднювалися за 10 сеансами біометрії на кожному оці. Розрахунки Р здійснювалися для кожного ока за формулами, назви яких наведені у таблиці. В останньому стовпці показано Δ[дптр] – діапазон зміни значень Р при розрахунках за вказаними формулами.

Дані, наведені в останньому стовпці таблиці, свідчать про те, що значна кількість очей отримала надто велику розбіжність значень Р, щоб на основі таких результатів розрахунку здійснювати впевнений вибір ІОЛ з потрібною оптичною силою. А це у свою чергу показує відсутність остаточного вирішення проблеми точного визначення потрібного персонального значення Р ІОЛ для будь-якого ока.

Таблиця 1

Результати біометрії очей і розрахунків Р ІОЛ

№	Вік	L[мм] (AL)	R[мм]	Aconst	P IOL [дптр]				Δ [дптр]
					SRKII	HofferQ	Holladay	SRK/T	
1	82	22,35	7,25	119,03	21,26	20,97	21,06	21,49	0,52
2	82	22,19	7,35	119,03	22,23	22,43	22,41	22,7	0,47
3	79	22,78	7,46	119,03	21,39	21,11	21,16	21,43	0,32
4	79	22,80	7,42	119,03	21,07	20,63	20,72	21,04	0,44
5	78	22,7	7,30	119,03	20,67	20,05	20,2	20,63	0,62
6	78	22,62	7,11	119,03	20,41	19,67	19,85	20,36	0,74
7	67	25,21	7,21	119,03	13,35	10,26	11,18	11,73	3,09
8	67	25,32	7,20	119,03	13,01	9,80	10,75	11,29	3,21
9	59	25,98	7,59	119,03	13,53	11,35	11,70	12,11	2,18
10	59	25,91	7,51	119,03	13,31	10,90	11,34	11,78	2,41
11	58	21,87	7,75	119,78	26,94	27,74	27,39	27,21	0,8
12	58	22,04	7,89	119,78	26,18	28,01	27,61	27,36	1,83
13	57	21,99	7,30	119,03	23,47	22,86	22,81	23,11	0,66
14	57	21,52	7,32	119,03	24,73	24,90	24,72	24,91	0,19
15	49	24,68	8,20	119,03	19,79	20,11	19,96	19,83	0,32
16	49	24,45	8,05	119,03	20,17	19,79	19,73	19,71	0,46
17	39	23,19	7,83	119,03	22,26	22,41	22,28	22,3	0,15
18	39	23,33	7,93	119,03	22,40	22,64	22,46	22,43	0,24
19	9	23,86	7,50	119,03	18,88	17,53	17,81	18,22	1,35
20	9	23,26	7,49	119,03	20,35	19,60	19,74	20,06	0,75

З нашої точки зору не слід дивуватися цьому факту, тому що всякі математичні конструкції, (3-є, 4-е покоління формул) створені для прогнозування розташування ІОЛ в оці пацієнта на основі передопераційних зовнішніх антропометричних параметрів ока (довжини ока, радіусу поверхні рогівки, діаметру райдужки та ін.), не можуть гарантувати точний прогноз щодо розташування ІОЛ вздовж візуальної осі, який конче потрібний для точного розрахунку Р.

Висновки

1. Незважаючи на те, що вже пів століття ведуться пошуки алгоритму точних розрахунків потрібної оптичної сили ІОЛ, які імплантується в око при хірургії катаракти, досі не існує методу визначення цього параметру з похибками, які гарантовано узгоджуються з кроком у 0.5 дптр, з яким виготовляються ці лінзи.
2. Хоча поєднання точних і емпіричних методів визначення значень Р і призвело до суттєвого підвищення точності прогнозування потрібного значення цього параметру, тим не менш клінічна практика показує відсутність повного вирішення проблеми досягнення потрібної точності.
3. Причиною факту, відміченого у п.2, вочевидь є обмеження можливостей точного визначення параметру Р на основі передопераційної біометрії через надто велику природну різноманітність індивідуальних антропометричних властивостей будови кожного ока.
4. Вважаємо, що перспективним напрямком подальшого вдосконалення методів визначення параметру Р є поєднання результатів передопераційної біометрії та біометрії, яку потрібно здійснювати при хірургії катаракти в момент після видалення патологічного кришталика і підготовки ока до імплантації штучного, що може підвищити об'єктивність даних, потрібних для більш точних розрахунків Р.

Література

1. Сергиенко Н.М. Интраокулярная коррекция / Сергиенко Н.М. – К. : «Здоровья», 1990. – 126 с.
2. Сокуренко В.М. Око людини та офтальмологічні прилади / В.М. Сокуренко, Г.С. Тимчик, І.Г. Чиж. – К. : НТУУ«КПІ», 2009. – 264 с.
3. Разновидности интраокулярных линз (ИОЛ) [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://docbondarenko.com.ua/oborudovanie-i-tekhnologii/lens-all.html— Назва з екрану.
4. Федоров С.Н. Методика расчета оптической силы интраокулярной линзы / С.Н. Федоров, А.И. Колинко, А.И. Колинко // Вестн. офтальмологии. – 1967. – № 4. – С. 27–31.
5. Nema H. V., Nitin Nema. Diagnostic procedures in ophthalmology. Third edition. – New Delhi; Philadelphia : Jaypee Brothers Medical Publishers (P) LTD, 2014. – 291 p.
6. Holladay J.T., Prager T.C., Chandler T.Y., etc. A three-part system for refining intrajcular lens power calculation. J. Cataract Refract. Surg. 1988. Vol. 14. P. 17–23.
7. Holladay J.T., Prager T.C., Ruiz R.S., Lewis J.W., Rosenthal H. Improving the predictability of calculation calculations. Arch. Ophthalmol. 1986. Vol. 4. P. 539–541.
8. Филиппова О.М. Выбор тактики хирургического вмешательства и планирования послеоперационной рефракции при глаукоме, катаракте и миопии / О.М. Филиппова // Глаукома. – 2002. –

№ 2. – С. 44–51.

9. Hoffer K.J. The Hoffer Q formula: a comparison of theoretic and regression formulas. J. Cataract Refract. Surg. 1993. Vol. 19. P. 700–712.

10. Holladay J.T., Prager T.C., Ruiz R.S., Lewis J.W. et al. A three-part system for refining intraocular lens power calculation. J. Cataract Refract. Surg. 1988. Vol. 14. P. 17–24.

11. Sanders D.R., Retzlaff J., Kraff M.C. Development of the SRK/T IOL power calculation formula. J. Cataract Refract. Surg. 1990. Vol. 16. P. 333–340.

12. Binkhorst R.D. The optical design of intraocular lens implants. Ophthalnic Surg 1975; 6: 17–31.

13. Swadique M., Nazia D., Mol I. S. "Comparison of Accuracy of SRK T And Hoffer Q Formula in Short Eye Balls". National Journal of Medical and Allied Sciences. 2015. Vol. 4 (1). P. 56–61.

14. Retzlaff J. Sanders D., Kraff M. A manual of implant power calculation. Oregon: Medford, 1982.

15. Sanders D.R., Kraff M.C. Improvement of intraocular lens power calculation using empirical data. Am. Intra-Ocular Implant Soc. J. 1980. Vol. 6. P. 263–267.

16. Millodot M. Dictionary of Optometry and Visual Science, UK: Elsevier Health Sciences, 2009, pp. 342–343.

17. Sanders D.R., Retzlaff J., Kraff M.C. Comparision of the SRK-2 formula and other second-generation formulas. J. Cataract Refract. Surg. 1988. Vol. 14. P. 136–141.

18. Binkhorst R.D. Intraocular lens power calculation manual-a guide to the authors. TI-58/51. Intraocular lens power module, 2nd ed. New York: Binkhorst, 1981.

19. Dang M.S., Raj S. SRK II formula in the calculation of intraocular lens power. British Journal of Ophthalmology. 1989. Vol. 73(10). P. 823–826.

20. John H. Shammas. Intraocular lens power calculations. Slack Incorporated. 2004. P. 9–10.

21. Tyson F. Choosing the Proper Formula for Accurate IOL Calculations. Ophthamology Management, Issue: August 2006.

22. Barrett G. D. "An improved universal theoretical formula for intraocular lens power prediction", Journal of Cataract and Refractive Surgery, Vol. 19, 1993, pp. 713–720.

Рецензія/Peer review : 7.3.2017 р. Надрукована/Printed :13.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Тимчик Г.С.

УДК 621.396.963

О.К. ЯНОВИЦЬКИЙ, О.С. ЯНОВИЦЬКИЙ, В.Ф. ДЗЯБУРА
Хмельницький національний університет

УДОСКОНАЛЕННЯ ВІТЧИЗНЯНИХ ВТОРИННИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

В статті розглянуті питання дообладнання ПС адресними літаковими відповідачами і системами попередження зіткнення з одночасним включенням в склад літакових відповідачів СОМ-64, СО-70, СО-72М вузлів, які забезпечують сумісну роботу з адресними відповідачами і системами попередження зіткнення. Виконання цих робіт забезпечило польоти ПС цивільної і військово-транспортної авіації в зоні дії вторинних радіолокаторів режимів RBS і S згідно з умовами ICAO. Сумісна робота адресних і безадресних літакових відповідачів дозволила продублювати давачі значень висоти ПС для навігаційних систем на борту, що підвищує надійність роботи вторинної системи управління повітряним рухом і веде до зниження кількості конфліктних ситуацій під час польотів ПС.

Ключові слова: *управління повітряних рухом, повітряне судно, прийомопередавач, шифратор.*

A.K. YANOVITSKYI, A.S. YANOVITSKYI, V.F. DZIABURA
Khmelnytskyi National University

IMPROVEMENT OF NATIONAL SECONDARY RADAR SYSTEMS FOR AIR TRAFFIC CONTROL

In the article questions retrofit aircraft targeted defendants aircraft and systems against collision while turning in of aircraft defendants COM-64, SB-70, SB-72M units that provide targeted joint operation with the defendant and systems against collision. Following these works provide aircraft flying civilian and military transport aircraft in the area of secondary radar mode S and RBS under the terms of the ICAO. Joint work address and unaddressed aircraft defendants sensors allow duplicate values for the height of the aircraft navigation system on board, which increases the reliability of the secondary air traffic control system and leads to reduction in the number of conflicts when flying aircraft.

Key words: *air traffic control, aircraft transceiver encoder.*

В другій половині минулого століття до початку дев'яностих років забезпечення безпеки польотів повітряних суден (ПС) повністю покладають на диспетчерську службу управління повітряним рухом (УПР) літовищ. В систему управління повітряним рухом включена система вторинної радіолокації, яка є основним джерелом інформації для диспетчерів про координати ПС, висоту польоту і бортовий номер (номер екіпажу). В систему вторинної радіолокації (ВРЛ) входять наземні радіолокатори літовищ і літакові відповідачі (ЛВ), встановлені на ПС. Технічні параметри сигналів апаратури системи ВРЛ (радіолокаторів ЛВ) виготовлені в різних країнах, повинні відповідати нормам, приведеним в документах Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO) [1].

Згідно конвенції про міжнародну цивільну авіацію літовища на всіх міжнародних авіаційних трасах обладнані системами вторинної радіолокації ATC RBS (Air traffic control radar beacon system). В Радянському Союзі, всі ПС цивільної авіації, які літали по міжнародних авіатрасах, були обладнані ЛВ, які мали два режими роботи: вітчизняний УПР і міжнародний RBS. Це забезпечує польоти таких ПС як у зонах дії систем ВРЛ з вітчизняною структурою сигналів, так і в зонах дії систем ВРЛ з міжнародною структурою сигналів. Принцип побудови і дії вітчизняної і міжнародної систем ВРЛ ідентичні, але мають різні частоти передавачів і приймачів, а також різну структуру сигналів запиту і відповіді.

У вітчизняній системі ВРЛ [3]:

- основна частота передавача 740 МГц;
- основна частота приймача 837,5 МГц;
- структура сигналу запиту: бортового номера – двоімпульсний код 9,4 мкс, а висоти польоту – двоімпульсний код 14 мкс;
- структура сигналу відповіді наведена рис. 1.

У міжнародній системі ВРЛ [3]: частота передавача 1090 МГц; частота приймача 1030 МГц; структура сигналу запиту: бортового номера (номер екіпажу) – двоімпульсний код 8 мкс, а висоти польоту – двоімпульсний код 21 мкс; структура сигналу відповіді наведена на рис. 2.

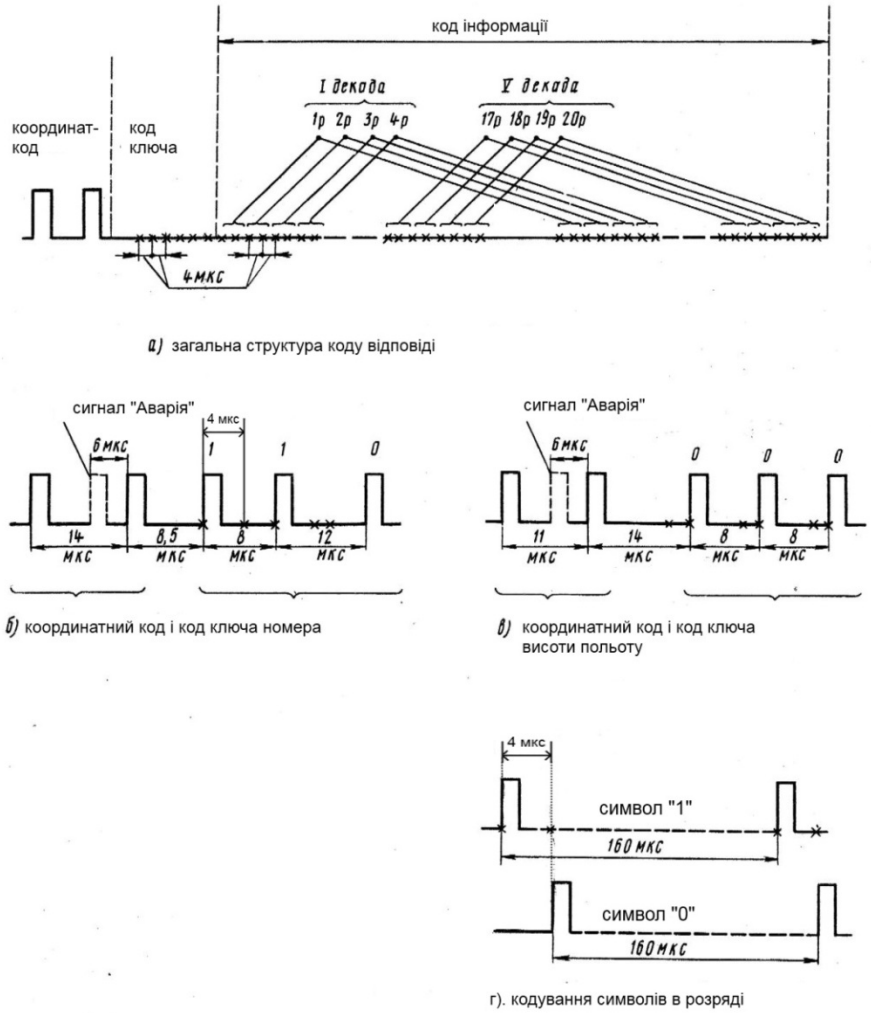


Рис. 1. Структур коду відповіді

Примітки:

1. Код ключа номера чи висоти має три розряди. Розряд розміщається на часовому інтервалі 8 мкс. При значенні розряду «1» імпульс розміщується на позиції 0 мкс, а при значенні розряду «0» імпульс розміщується на позиції 4 мкс (рис. 1 г).
2. Інформація про номер (або висоту польоту і паливо) передається двійково-десятковим кодом (чотири розряди в декаді).
3. Код ключа і код інформації передається з розрядкою, тобто, передається приблизно з кожним п'ятим кодом відповіді ЛВ.

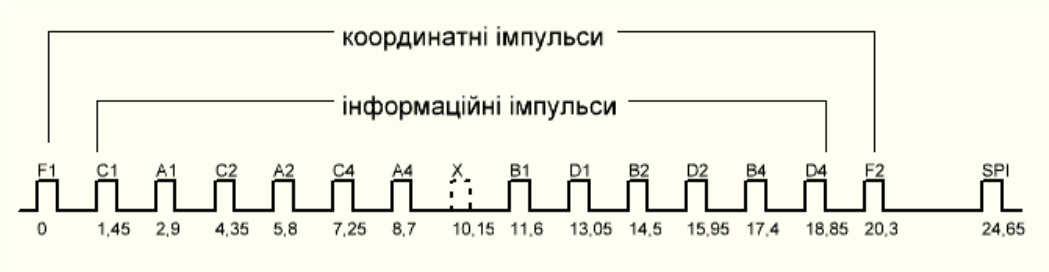


Рис. 2. Коди відповіді ЛВ

Примітки:

1. На позиції 0 мкс і 20,3 мкс розміщуються координатні імпульси.
2. На позиції 1,45 … 8,7 мкс; 11,6 … 18,85 мкс розміщуються інформаційні імпульси бортового номера, або висоти.
3. Позиція 10, 15 мкс зарезервована і до теперішнього часу не використовується.
4. Імпульс SPI на позиції 24, 65 мкс передається з ЛВ по запиту диспетчера.

Для збільшення дальності дії і автоматичного одержання з борту ПС інформації в міжнародній і вітчизняній системах ВРЛ використовується метод роботи з активною відповіддю. Наземні радіолокатори за допомогою обертової антени постійно опитують всі ПС, які знаходяться в зоні дії і обладнані ЛВ. Запит проводиться двох імпульсними кодами. Режим запиту (запит номера чи висоти) закодований часовим інтервалом між цими імпульсами.

Кодовані відповіді (рис. 1 або рис. 2) випромінюються бортовим ЛВ на частотах 740 МГц або 1090 МГц і поступають на наземні радіолокатори.

По положенню обертової антени в момент прийому відповіді і по часу між запитом і прийомам відповіді на наземних радіолокаторах вираховують азимут і дальність до ПС (координати ПС).

Декодована інформація про бортовий номер або висоту польоту, а також інформація про координати ПС поступають на робоче місце диспетчера. Керуючись одержаною інформацією про ПС на авіатрасі, диспетчер приймає рішення по уточненню курсів і ешелонів руху ПС для забезпечення безпеки їх польоту.

Значне збільшення інтенсивності польотів ПС і безадресні запити наземних радіолокаторів, а також безадресні відповіді ЛВ, уже в шестидесятих роках минулого століття визвали значні труднощі в роботі диспетчерської служби УПР по попередженню небезпечних зближень ПС в повітрі. Диспетчери і пілоти не завжди своєчасно приймали рішення по виключенню конфліктних ситуацій.

З цілю покращення роботи систем УПР почали проводитись роботи в двох напрямках:

- розробка систем адресного обміну інформацією між наземними радіолокаторами і ПС;
- розробка систем попередження зіткнень (СПЗ) ПС в повітрі.

На 7-й аеронавігаційній конференції міжнародної організації цивільної авіації були вироблені вимоги до СПЗ [2]. Основні з них наступні:

- СПЗ повинна бути повністю сумісна з системою УПР і забезпечувати автоматичне попередження диспетчерів УПР про маневри виконуванні ПС, згідно з командами, виробленими СПЗ;
- СПЗ повинна бути придатна для розміщення на всіх класах ПС, тобто економічна і практична. Системи для вимірів різних характеристик на різних класах ПС повинні бути сумісними;
- СПЗ повинна сигналізувати пілоту про загрозу зіткнення і указувати маневр по попередженню зіткнення;
- вироблені в СПЗ команди на маневри відхилення від зіткнення повинні бути сумісними з характеристиками ПС на всіх етапах польоту і передаватись в реальному масштабі часу;
- маневри, виконувані ПС по командах СПЗ, не повинні приводити до зменшення еталонування між ПС;
- СПЗ не повинна служити джерелом радіо завад при роботі других систем;
- система повинна забезпечувати попередження зіткнень при одночасному знаходженні великої кількості ПС в межах радіусу дії і забезпечувати відсутність насичення робочих частот;
- СПЗ повинна бути дієздатною при будь-яких метеорологічних умовах.

В восьмидесятих роках минулого століття в США були розроблені і виготовлені адресні літакові відповідачі (АЛВ) і системи СПЗ. Міжнародною організацією ICAO було прийнято рішення про поетапне упровадження АЛВ і систем СПЗ в різних регіонах. В перший регіон входили США, Канада і Західна Європа. Літовища цього регіону були переобладнані на початку 90-х років минулого століття.

В удосконалену систему УПР стали входити: наземний радіолокатор, який міг працювати в адресному (S) і безадресному (RBS) режимах; два адресні АЛВ (один працюючий, а другий в «гарячому» резерві) і система СПЗ на ПС.

Структура запиту загального виклику режимів RBS і S наземного радіолокатора приведена на рис. 3.

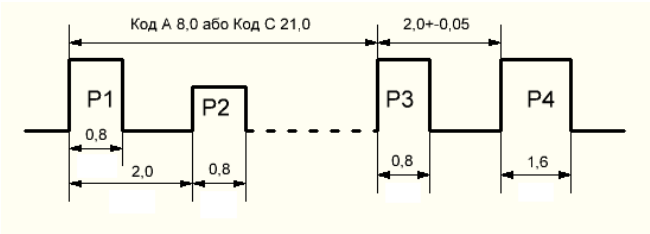


Рис. 3. Одночасний запит ЛВ режимів RBS і S

Примітки:

1. Всі часові параметри приведені в мкс.
2. В ЛВ режиму RBS після закодування імпульсу Р3 вхід дешифратора бланкується і імпульс Р4 не поступає на дешифратор.
3. АЛВ режиму S декодує імпульс Р4 і передає в відповідь на цей запит адресу згідно нормативним документам на наземний радіолокатор. Між АЛВ на ПС і наземним радіолокатором встановлюється адресний обмін інформацією.

Для забезпечення польотів українських і російських ПС на міжнародних авіатрасах в 90-х роках минулого століття було прийнято наступне рішення:

- на ПС були розміщені експортні АЛВ і СПЗ;
- ЛВ СО-70, СОМ-64, СО-72М доопрацьовані шляхом установки: в шифраторі ICAO перетворювача висоти код-код (ЛВ СО-70 і СОМ-64), а в рамі амортизаційній ЛВ СО-72М пристрій сполучення (ЛЗ). Це доопрацювання дозволило проводити польоти на території України чи Росії в режимів УПР або RBS, а при польотах за кордоном по міжнародних авіатрасах в режимах RBS або S.

Структурна схема ЛВ СО-70 з перетворювачем висоти код-код приведена на рис. 4. Принцип роботи перетворювача висоти код-код вписаний у статті [4].

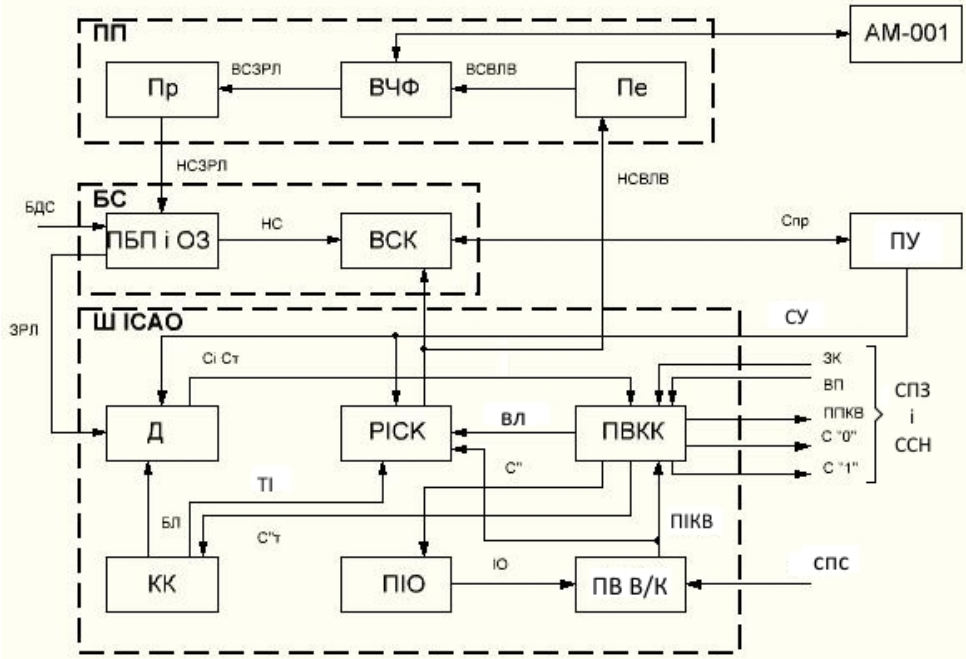


Рис. 4. Структурна схема ЛВ СО-70 з перетворювачем висоти код-код.
ПП – приймопередавач; АМ-001 – приймопередавача антена на частотах 1030, 1090 МГц; Пр – приймач; ВСЗРЛ – високочастотний запит радіолокатора; ВЧФ – високочастотний фільтр; ВСВЛВ – високочастотний сигнал відповіді ЛВ; Пе – передавач; НСЗРЛ – низькочастотний сигнал запиту радіолокатора; НСВЛВ – низькочастотний сигнал відповіді ЛВ; БС – блок сполучення; БДС – бланки других систем; ПБП і ОЗ – подавлення бокових пелюсток і обмеження завантаження; НС – наведений сигнал; ВСК – вбудована схема контролю; Спр. – справність; ПУ – пульт управління; СУ – сигнал управління; ЗРЛ – запит радіолокатора; Ш ІСАО – шифратор ІСАО; С і Ст. – запит висоти і старт; ЗК – загальний кодера; ВП – відключення передавача; Д – дешифратор; РІСК – регістр і схема контролю; ППКВ – паралельний потенціальний код висоти; ПВКК – перетворювач висоти код-код; С «0» – справність «0»; С «1» – справність «1»; Бл – бланк; ТІ – тактові імпульси; Ст – старт сумарний; с" – запит висоти сумарний; ПІКВ – паралельний імпульсний код висоти; КК – кварцовий калібратор; ПІО – підсилювач імпульсу опитування; ІО – імпульс опитування; ПВ В/К – перетворювач висоти вал/код; СПС – система повітряних сигналів; СПЗ – система проти зіткнення; ССН – система супутникової навігації

Структурна схема основного комплексу ЛВ СО-72М з пристроєм сполучення приведена на рис.5. Принцип роботи пристрою сполучення описаний в статті [4].

В основний комплект ЛВ СО-72М входять: рама амортизаційна з пристроєм сполучення; БПІ на РА – блок перетворення інформації на рамі амортизаційній; ПУ – пульт управління; ПНН – пристрій набору номера; ПБ – пристрій бланкування; АФС – антено-фідерна система.

ПС, обладнані ЛВ, СОМ-64 СО-70 з ПВКК або ЛВ СО-72М з ПСп. здійснюють в залежності від радіолокаторів литовищ країн СНД, польоти в режимах УПР або RBS, а на міжнародних авіатрасах, літовища яких обладнані радіолокаторами режиму «S», в ЛВ з режимом RBS по команді з системи СПЗ автоматично відключається передавач і забезпечується видача значень висоти по нормах ІСАО для дублювання других систем видачі висоти для АЛВ. Додаткове дублювання забезпечує підвищення надійності систем видачі про параметри польоту ПС.

Удосконалення вторинних радіолокаційних систем управління повітряним рухом в дев'яності роки минулого століття і послідуючі роки захопило не тільки цивільну авіацію, а також військову. В країнах СНД (в тому числі і в Україні) планувалось дообладнати: ПС військово-транспортної авіації АЛВ і СПЗ, а винищувачі і учбові літаки ЛВ з режимом RBS [1].

Для часткової реалізації цього плану в Україні і Російській Федерації по ініціативи авторів статті були виконані наступні роботи:

- на базі ЛВ СО-69 з основним режимом УПР був розроблений ЛВ СО-69М з режимом RBS. ЛВ СО-69М можливо розміщувати на ПВ на місці ЛВ СО-69 без доопрацювання міжсистемного монтажу на ПС і заміни АФС;
- для ЛВ А-511 з основним режимом УПР був розроблений шифратор з додатково введеним режимом RBS. Після заміни старого шифратора на розроблений міжсистемний монтаж і АФС на ПС залишаються без зміни;
- в Україні в 2010 р. були виготовлені перші зразки АЛВ і СПЗ на ПО «Новатор» (розробник НДУ «Буран», м. Київ);
- в середині 90-х років минулого століття на ПО «Новатор» на базі ЛВ СО-72М був розроблений і виготовлений контрольний літаковий відповідач (КЛВ).

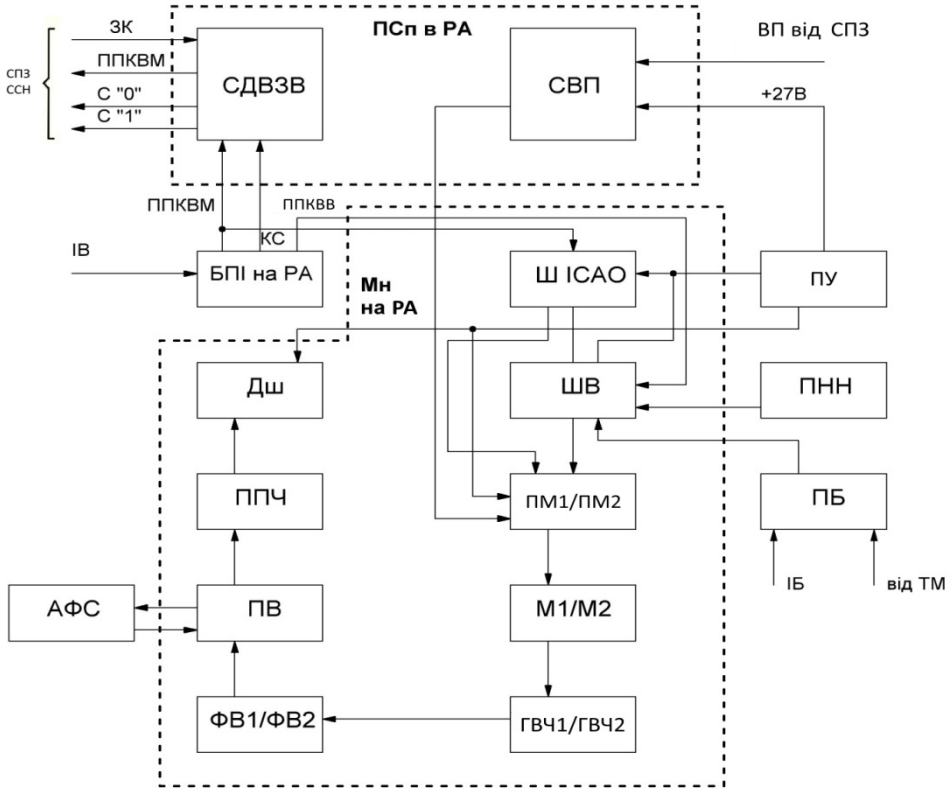


Рис. 5. Структурна схема основного комплекту ЛВ СО-72М з пристроєм сполучення
ССН – система супутникової навігації; СПЗ – система попередження зіткнення; ЗК – загальний кодера; ППКВМ – паралельний потенціальний код висоти міжнародний; С «0» – справність «0»; С «1» – справність «1»; СДВЗВ – схема дозволу видачі значень висоти; ПСп. в РА – пристрій сполучення в рамі амортизаційній; СВП – схема виключення передатчика; КС – квитанція справності; ППКВВ – паралельний потенціальний код висоти вітчизняний; ІВ – інформація про висоту; БПІ на РА – блок перетворення інформації на рамі амортизаційній; Мн на РА – моноблок на рамі амортизаційній; Ш ІСАО – шифратор ІСАО; ПУ – пульт управління; Дш – дешифратор; ШВ – шифратор вітчизняний; ПНН – пристрій набору номера; ППЧ – підсилювач проміжної частоти; ПМ – підмодулятор; ПБ – пристрій бланкування; АФС – антено-фідерна система; ПВ – підсилювач високочастотний; М – модулятор; ФВ – феритовий вентиль; ГВЧ – генератор високої частоти

В Україні в минулому столітті не всі літовища були обладнані радіолокаторами режиму RBS. Після розміщення на літовищі радіолокатора режиму RBS необхідно визначити кути закриття від місників. Цю роботу виконують за допомогою КЛВ, розміщеного на пересувній радіолабораторії.

КЛВ, розроблений на базі ЛВ СОМ-64 (рис. 6), має тільки режим УПР.

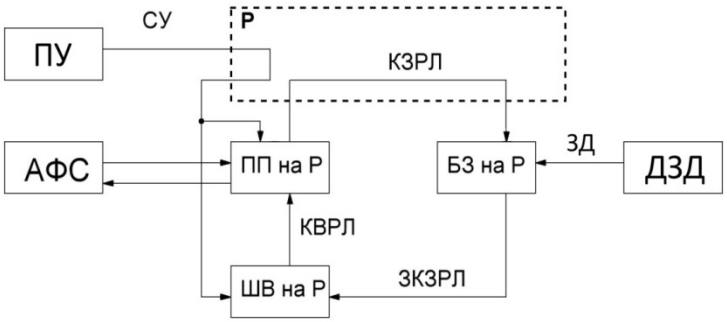


Рис. 6. Схема структурна КЛВ для режиму УПР на базі СОМ-64
ПУ – пульт управління; СУ – сигнали управління; Р – рама; КЗРЛ – код запиту радіолокатора; АФС – антено-фідерна система; ПП на Р – прийомопередавач на рамі; БЗ на Р – блок затримки на рамі; ЗД – задана дальність; ДЗД – давач значень дальності; КВРЛ – код відповіді радіолокатору; ШВ на Р – шифратор вітчизняний на рамі; ЗКЗРЛ – затриманий код запиту радіолокатора

Для побудови КЛВ для режиму УПР були використані блоки серійно випущені ЛВ СОМ-64: прийомопередавач, шифратор вітчизняний, пульт управління, антено-фідерна система; і введені нові блоки: блок затримки, давач значень дальності.

При розробці КЛВ для режиму RBS використати принцип побудови КЛВ для режиму УПР нераціонально, так як його блок затримки має конструктивні недоліки:

- його значні габарити визначаються габаритами ліній затримки, на яких він побудований;
- при значних затримках відео імпульсів Р1, Р2, Р3 (рис. 7) може бути змінено співвідношення амплітуд імпульсів Р1, Р3 і Р2, що призведе до похибок в роботі схеми трьох імпульсного подавлення [5, 6].

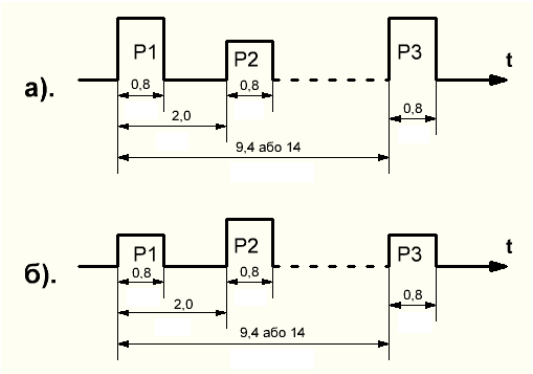


Рис. 7. Коди запиту радіолокаторам на виході ПП в режимі УПР

Примітки:

1. Всі часові інтервали на малюнку в мікросекундах.
2. Імпульси Р1, Р3 передають в основному пелюстку діаграми направленості антени.
3. Імпульс Р2 передається в круговій діаграмі направленості антени.
4. а) співвідношення імпульсів Р1, Р3, Р2 при прийомі імпульсів Р1, Р3 від основного пелюстка антени;
5. б) співвідношення імпульсів Р1, Р3, Р2 при прийомі імпульсів Р1, Р2 від побічних пелюсток антени.

При розробці КЛВ для режиму RBS прийняли рішення використати ЛВ СО-72М як базовий (рис. 8). Для спрощення схеми затримки коду запиту радіолокатора вирішили ввести затримку декодованого імпульсу коду запиту. Для зменшення габаритів і маси пристрою затримки дальності для його розробки була використана сучасна елементна база.

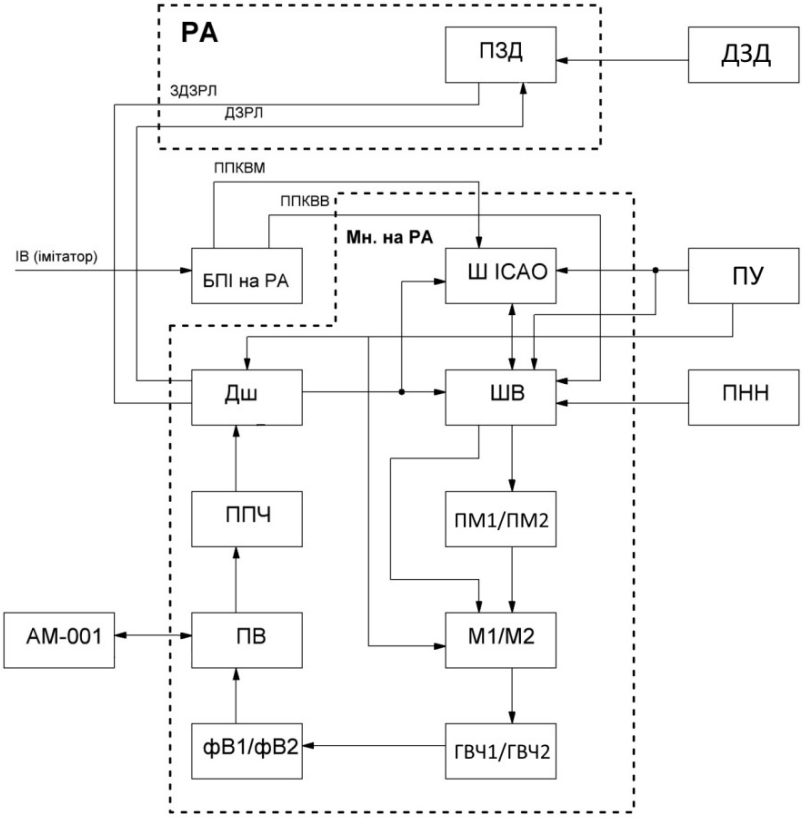


Рис. 8. Схема структурна контрольного літакового відповідача в режимі RBS
РА – рама амортизаційна; ПЗД – пристрій затримки дальності; ДЗД – давач заданої дальності; ЗДЗРЛ – затриманий декодований запит радіолокатора; ДЗРЛ – декодований запит радіолокатора; ППКВМ – паралельний потенціальний код висоти міжнародний; ППКВВ – паралельний потенціальний код висоти вітчизняний; ІВ – інформація про висоту; БПІ на РА – блок перетворення інформації на рамі амортизаційній; Мн. на РА – моноблок на рамі амортизаційній; Ш ІСАО – шифратор ІСАО; ПУ – пульт управління; Дш – дешифратор; ШВ – шифратор вітчизняний; ПНН – пристрій набору номера; ППЧ – підсилювач проміжної частоти; ПМ – підмодулятор; АМ-001 – антена з круговою діаграмою направленості; ПВ – підсилювач високочастотний; М – модулятор; ФВ – феритовий вентиль; ГВЧ – генератор високої частоти

Висновки. Дообладнання ПС цивільної і військово-транспортної авіації України системами СПЗ і ССН з одночасним введенням в ЛВ СОМ-64, СО-70, СО-72М вузлів, які забезпечують їх сумісну роботу з системами СПЗ і ССН, дозволяє забезпечити польоти в зонах дії радіолокаторів режимів RBS і S в Україні і

на міжнародних авіатрасах згідно з умовами ICAO. При цьому підвищилась надійність роботи диспетчерської служби УПР завдяки додатковому дублюванню каналів видачі висоти польоту навігаційним системам.

Введення режиму RBS в літакові відповідачі СО-69, А-511, розміщені на військових одно- і двохмісних ПС, а також замір вузлів закриття на літовищах за допомогою розробленого і виготовленого КЛВ режиму RBS забезпечує більш повну оцінку диспетчерами завантаження повітряного простору ПС, а також веде до зниження конфліктних ситуацій під час польотів ПС.

Література

1. Яновицький О.К. Розвиток радіосистем ближньої навігації в Україні / О.К. Яновицький, О.С. Яновицький, В.Ф. Дзябура // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : матеріали XV Міжнар. конф., 10–14 верес. 2015 р., Одеса / Мін-во освіти і науки України, Укр. технол. акад., Одес. нац. акад. зв'язку ім. О.С. Попова [та ін.] ; [редкол. : В.І. Водотовка, В.Б. Дудикевич, Ж.Е. Желкобаев та ін. – 2015. – С. 30–31.

2. Бычков С.И. Радиотехнические системы предупреждения столкновений самолетов / С.И. Бычков, Е.А. Пахолков, В.Н. Яковлев. – М. : Советское радио, 1977. – 205 с.

3. ГОСТ 21800-89. Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением. Общие технические требования. – Введ. 1990-07-01 – М. : Изд.-во стандартов, 1990.

4. Яновицький О.К. Підвищення систем надійності управління повітряним рухом при реалізації сумісної роботи з системами попередження зіткнень повітряних суден / О.К. Яновицький, О.С. Яновицький, В.Ф. Дзябура // Вісник ТУП, технічні науки. – 2016. – № 6. – С. 206–209.

5. А. с. 682015 СССР, МКИ^{2}G01S 9/56. Устройство для подавления запроса боковыми лепестками систем УВД / Н.И. Жиган, А.К. Яновицкий, А.К. Харкевич. – № 2549422/18-23 ; заявл. 05.12.77.

6. Яновицький О.К. Методи підвищення стабільності три імпульсного подавлення в радіотехнічних системах управління повітряним рухом / О.К. Яновицький, С.О. Яновицький, М.Й. Жиган // Актуальні проблеми техніки та суспільства : збірник статей викладачів та наукових співробітників технологічного університету Поділля. – Хмельницький, 1996. – С. 243–250.

Рецензія/Peer review : 18.3.2017 р. Надрукована/Printed :23.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н. Любчик В.Р.

УДК 510.6

Л.П. БЕДРАТЮК, Г.І. БЕДРАТЮК
Хмельницький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОЇ АЛГЕБРИ MAPLE ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ КОМБІНАТОРНИХ ЗАДАЧ

*Надано опис основних команд пакетів **combinat** та **genfunc** системи комп'ютерної алгебри Maple. Розглянуто способи розв'язання деяких типових комбінаторних задач в Maple. Зокрема розглянуті команди для наступних розділів: перестановки, комбінації, розміщення, розбиття, рекурентні співвідношення, породжуючі функції, обчислення сум. Розглянуті пакети пропонується використовувати в ході вивчення дисциплін: дискретна математика, дискретні структури, алгоритми та структури даних, комп'ютерна алгебра та символьні обчислення*

Ключові слова: комбінаторика, Maple, рекурентні співвідношення, породжуючі функції, біноміальні коефіцієнти, розбиття, перестановки.

L.P. BEDRATIUK, A.I. BEDRATIUK
Khmelnytskyi National University

USING OF THE COMPUTER ALGEBRA SYSTEM MAPLE FOR COMBINATORIAL PROBLEMS

*The last decade has seen active penetration of computer algebra systems in the educational process that allows us to create innovative learning technologies, including mathematical teaching in universities. One of the most popular computer algebra systems is the system Maple, company Waterloo Maple, which successfully combines symbolic manipulation, computational mathematics, powerful graphics and easy programming language. Because of its convenience and versatility Maple system became an indispensable tool of research for many scientists, engineers and students. Almost every section of modern mathematics in Maple developed some specialized packages. However, at present these technologies, despite their effectiveness and visibility, for various reasons, Is not common in the learning process, which is not conducive to the integration of higher education in Ukraine. The purpose of this paper is to develop a common approach to the use of computer algebra system Maple to solve some common problems of combinatorics, and which can be used in the educational process. The paper describes the packages **combinat** and **genfun** and illustrated by examples of their use for solving typical problems arising in combinatorics. The article can be useful in the study of some sections of discrete mathematics, discrete structures, algorithms and data structures.*

Keywords: combinatorics, Maple, permutation, partitions, combinatorial numbers, recurrence relations, combinatorial sum, generating functions

Постановка проблеми. Останнім десятиліттям спостерігається динамічне проникнення систем комп'ютерної алгебри в освітній процес, що дозволяє формувати інноваційні технології навчання, зокрема математичного навчання в університетах [1–4]. Однією з найбільш популярних в світі систем комп'ютерної алгебри є система Maple фірми «WaterlooMaple, Inc.», яка успішно поєднує символьні маніпуляції, обчислювальну математику, потужну графіку та зручну мову програмування. В силу своєї зручності та універсальності система Maple стала незамінним інструментом наукових досліджень для студентів, інженерів та дослідників. Майже для кожного розділу сучасної математики в Maple розроблені окремі спеціалізовані пакети. Проте на даний час ці технології, незважаючи на свою ефективність, простоту та наочність, в силу різних причин, ще недостатньо поширені в навчальному процесі, що не сприяє інтеграції системи вищої освіти України у світовий простір вищої освіти. У статті описуються пакети команд ***combinat*** *та* ***genfun*** та на прикладах ілюструються особливості їхнього використання для розв'язання типових комбінаторних задач. Початкові навики роботи в системі комп'ютерної алгебри Maple, детально розглянуто в [5, 6], а основи сучасної комбінаторики – в [7]. Комбінаторні методи є наріжним каменем в розробці та аналізі сучасних алгоритмів на дискретних структурах що викликало підвищення інтересу до комбінаторики в останні десятиліття.

Матеріали статті можуть бути використані студентами та викладачами ВНЗ для розв'язання типових задач, які зустрічаються в процесі вивчення дисциплін "Алгоритми та структури даних", "Дискретні структури", "Дискретна математика". Дана стаття є продовженням статей авторів [8–12], спрямованих на популяризацію систем комп'ютерної алгебри в освіті.

Аналіз джерел літературних даних та публікацій і постановка проблеми. Метою даної статті є розгляд основних команд спеціалізованого пакетів **combinat** та **genfun,** які розроблені для розв'язання типових задач комбінаторики в системі Maple. Початкові навики роботи в системі комп'ютерної алгебри Maple, детально розглянуто в [5–6].

Нагадаємо що комбінаторика це частина математики, яка займається вивченням скінчених наборів дискретних об'єктів які називаються комбінаторними об'єктами. Поле інтересів комбінаторики включає перерахування (знаходження кількості) комбінаторних об'єктів із наперед заданим типом та розміром, вирішення чи деякі критерії існування комбінаторних об'єктів можуть бути досягнуті; конструювання та аналіз об'єктів які задовольняють таким критеріям, знаходження найбільших, найменших, чи оптимальних об'єктів, а також вивчення комбінаторних структур, які виникають в алгебраїчному контексті, або використання алгебраїчної техніки до комбінаторних проблем. Способи отримання комбінаторних об'єктів називаються комбінаторними схемами а числа які виникають при перерахування комбінаторних об'єктів

називаються комбінаторними числами. Основними комбінаторними об'єктами є комбінації, перестановки, розбиття. Найвідоміші комбінаторні числа – біноміальні та мультиноміальні коефіцієнти, числа Стірлінга, Фібоначчі, Ейлера, Бернуллі та інші.

Схематично основна задача комбінаторики може бути сформульована наступним чином – нехай нам задана зліченна сім'я скінченних множини $X_1, X_2,$ і нам потрібно в якомусь вигляді описати послідовність $a_1, a_2,$ де позначає кількість елементів множини Як правило опис зводиться до складання рекурентного рівняння з використанням сум.

Виклад основного матеріалу. Дамо короткий опис пакетів системи Maple, які призначені для розв'язання типових задач з комбінаторики. Крім того ми розглянемо засоби Maple для розв'язування рекурентних рівнянь та систем рекурентних рівнянь і засоби Maple для обчислення сум.

Пакет **combinat** містить різноманітні процедури які пов'язані з основними комбінаторними операціями, зокрема з операціями розбиття, комбінаціями та перестановками.

Розглянемо основні типи команд з цього пакету. Для підключення пакету **combinat** потрібно в командному рядку Maple набрати командний рядок такого вигляду:

>**with(combinat);**

[Chi , *bell* , binomial , *cartprod* , *character* , *choose* , *composition* , *conjpart* , *decodepart* , *encodepart* , *eulerian1* , *eulerian2* , *fibonacci* , *firstpart* , *graycode* , *inttovec* , *lastpart* , *multinomial* , *nextpart* , *numbcomb* , *numbcomp* , *numbpart* , *numbperm* , *partition* , *permute* , *powerset* , *prevpart* , *randcomb* , *randpart* , *randperm* , *setpartition* , *stirling1* , *stirling2* , *subsets* , *vectoint*]

Після чого з'явиться перелік всіх команд пакету, основні з яким ми опишемо нижче.

Комбінаторні числа. Команда **binomial(n,r)** обчислює біноміальний коефіцієнт, що є кількістю різних наборів з ***r*** об'єктів, які можуть бути вибрані із ***n*** різних об'єктів.. Якщо обидва аргументи є невід'ємні цілі числа, причому $0 \le r \le n$, то $\text{binomial}(n, r) = \dfrac{n!}{r!\,(n-r)!}$. Якщо *n* і ***r*** є цілими числами, які не задовольняють умову $0 \le r \le n$, або *n* та *r* є раціональними числами, або числами з плаваючою точкою, тоді біноміальний коефіцієнт виражається через гамму-функцію:

$$\text{binomial}(n, r) = \frac{\Gamma(n+1)}{\Gamma(r+1)\,\Gamma(n-r+1)}$$

>**binomial(4, 2);**

$$6$$

>**binomial(2, 1/2);**

$$\frac{16}{3\,\pi}$$

>**binomial(2.1, 2+3*I);**

$$-56.56167619 - 98.27156511\,I$$

>**factor(expand(binomial(n, 2)));**

$$\frac{(n-1)\,n}{2}$$

Команда **multinomial(n, k1, k2, ..., km)** обчислює мультиноміальний коефіцієнт $n!/(k1!\,k2!...km!)$ при умові, що $n = k1 + k2 + ... + km$:

>**multinomial(8, 2, 3, 3);**

$$560$$

Команда **Stirling1(n,m)** обчислює числа Стірлінга першого роду, які рівні кількості перестановок довжини *n,* які подаються у вигляді добутку *m* циклів:

>**Stirling1(6,4);**

$$85$$

Команда **Stirling2(n,m)** обчислює числа Стірлінга другого роду, які рівні числу розбиттів *n*-елементної множини на *m* блоків і які визначаються наступною формулою через біноміальні коефіцієнти.

$$Stirling2(n, m) = \sum_{k=0}^{m} \frac{\binom{m}{k} k^n}{m!\,(-1)^{k-m}}$$

>**Stirling2(6,4);**

$$65$$

Числа Белла **bell(n)** визначаються як кількість всіх розбиттів *n*-елементної множини:

>**bell(10);**

$$115975$$

Числа Белла, за означенням, є сумою чисел Стірлінга другого роду

>**bell(15),add(stirling2(15,i),i=0..15);**

$$1382958545 , 1382958545$$

Числа Ейлера першого роду **eulerian1(n, k)** визначаються як кількість перестановок $\pi_1 \ldots \pi_n$ множини $\{1, 2, \ldots, n\}$ для яких рівно k елементів менші за попередні елементи, тобто $\pi_j < \pi_{j+1}$.

>**eulerian1(4, 2);**

$$11$$

Числа Ейлера другого роду eulerian2(n, k) визначають кількість перестановок $\pi_1 \pi_2 \ldots \pi_{2n}$ мультимножини $[1, 1, 2, 2, \ldots, n, n]$, які володіють двома властивостями:

Всі числа між двома входженнями числа m є меншими за m та існує рівно k елементів j для яких виконується $\pi_j < \pi_{j+1}$.

>**eulerian2(4, 2);**

$$58$$

Команді **fibonacci(n)** обчислює n-е число Фібоначчі, тобто число яке задається рекурентним співвідношенням

$$F_{n+1} = F_n + F_{n-1}$$

$$115975$$

>**fibonacci(15);**

$$610$$

Команда **fibonacci(n, x)** обчислює n-й многочлен Фібоначчі, які визначаються породжуючою функцією

$$\frac{t}{1 - x\,t - t^2} = \sum_{n=0}^{\infty} F(n, x)\, t^n$$

>**fibonacci(15,x);**

$$x^{14} + 13\,x^{12} + 66\,x^{10} + 165\,x^8 + 210\,x^6 + 126\,x^4 + 28\,x^2 + 1$$

Розбиття. Команда **partition(n)** знаходить всі розбиття цілого числа **n** у всі можливі невпорядковані суми**:**

>**partition(6);**

$$[[1, 1, 1, 1, 1, 1], [1, 1, 1, 1, 2], [1, 1, 2, 2], [2, 2, 2], [1, 1, 1, 3], [1, 2, 3], [3, 3], [1, 1, 4], [2, 4], [1, 5], [6]]$$

Ця команда у форматі **partition(n,m)** задає додаткову вимогу, щоб максимальне число у сумах було не більше за m:

> partition(6,3);

$$[[1, 1, 1, 1, 1, 1], [1, 1, 1, 1, 2], [1, 1, 2, 2], [2, 2, 2], [1, 1, 1, 3], [1, 2, 3], [3, 3]]$$

Команди **encodepart** і **decodepart** повертають розбиття за даним номером та номер розбиття в канонічному списку розбиття числа:

>**decodepart(6,4);encodepart([2, 2, 2]);**

$$[2, 2, 2]$$

$$4$$

Команда **setpartition(S,m)** розбиває множину S на підмножини потужності m де число m повинно бути дільником потужності |S|

>**S := {1,2,3,4,5,6};setpartition(S,3);setpartition(S,1);**

$$S := \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$$

$$\{\{\{1, 2, 3\}, \{4, 5, 6\}\}, \{\{1, 2, 4\}, \{3, 5, 6\}\}, \{\{1, 2, 5\}, \{3, 4, 6\}\}, \{\{1, 2, 6\}, \{3, 4, 5\}\}, \{\{1, 3, 4\}, \{2, 5, 6\}\}, \{\{1, 3, 5\}, \{2, 4, 6\}\}, \{\{1, 3, 6\}, \{2, 4, 5\}\}, \{\{1, 4, 5\}, \{2, 3, 6\}\}, \{\{1, 4, 6\}, \{2, 3, 5\}\}, \{\{1, 5, 6\}, \{2, 3, 4\}\}\}$$

$$\{\{\{1\}, \{2\}, \{3\}, \{4\}, \{5\}, \{6\}\}\}$$

Команда **graycode(n)** обчислює і повертає список який містить всі 2^n n-бітні цілі числа, у такому порядку, що двійкові записи сусідніх чисел відрізняються лише одним бітом.

>**graycode(3);**

$$[0, 1, 3, 2, 6, 7, 5, 4]$$

Перестановки. Команда **permute(n,m)** повертає список всіх k-елементних перестановок елементів множини (мультимножини) n. Якщо n є невід'ємним числом, цей параметр інтерпретується як множина із перших n цілих чисел. Якщо m не вказано, то вважається що $m=n$.

>**permute(3);**

$$[[1,2,3],[1,3,2],[2,1,3],[2,3,1],[3,1,2],[3,2,1]]$$

>**permute(3,2);**

$$[[1,2],[1,3],[2,1],[2,3],[3,1],[3,2]]$$

>**permute({a,b,c},2);**

$$[[a,b],[a,c],[b,a],[b,c],[c,a],[c,b]]$$

>**permute({a,b,a},2);**

$$[[a,b],[b,a]]$$

Команда **powerset(n)** повертає степінь (булеан) множини *n*.

>**powerset({a,b,c});**

$$\{\{\ \},\{a\},\{b\},\{c\},\{a,b\},\{a,c\},\{b,c\},\{a,b,c\}\}$$

Команда **choose(n),** у випадку коли n натуральне число**,** повертає список всіх підмножин множини перших *n* натуральних чисел:

>**choose(4);**

$$[[\ ],[1],[2],[3],[4],[1,2],[1,3],[1,4],[2,3],[2,4],[3,4],[1,2,3],[1,2,4],$$
$$[1,3,4],[2,3,4],[1,2,3,4]]$$

Якщо *n* – множина, то **choose(n)** повертає множину всіх комбінацій елементів множини ***n***, тобто булеан множини ***n***:

>**choose({a,b,c});choose([a,b,c]);**

$$\{\{\ \},\{a\},\{b\},\{c\},\{a,b\},\{a,c\},\{b,c\},\{a,b,c\}\}$$
$$[[\ ],[a],[b],[a,b],[c],[a,c],[b,c],[a,b,c]]$$

Зауважимо, що ***n***може бути також і мультимножиною:

>**choose({a,b,a,a},2);**

$$\{\{\ \},\{a\},\{b\},\{a,b\}\}$$

Якщо присутній параметр m, то команда **choose(n,m)** повертає список всіх підмножин із m елементів:

>**choose({a,b,c,d},2);**

$$\{\{a,b\},\{a,c\},\{a,d\},\{b,c\},\{b,d\},\{c,d\}\}$$

Команда **numbcomb(n,m)** обчислює кількість комбінацій елементів множини ***n*** взятих по *k* раз. Якщо параметр *m* не заданий, тоді розглядаються всі можливі комбінації:

>**numbcomb({a, b, c},2);**

$$3$$

>**numbcomb(5);**

$$32$$

Команда **composition(n,k)** обчислює і повертає список який містить всі різні впорядковані набори додатних чисел довжини *k,* які в сумі дають число *n***:**

>**composition(5,2);**

$$\{[1,4],[2,3],[3,2],[4,1]\}$$

Супутня команда **numbcomp(n,k)** обчислює кількість різних впорядкованих наборів додатних чисел довжини *k* , які в сумі дають число *n*:

>**numbcomp(5, 2);**

$$4$$

Для розв'язання рекурентних рівнянь та їх систем використовується команда **rsolve** у форматі **rsolve(eqns, fcns),** де **eqns** – рекурентне рівняння або система рекурентних рівнянь разом з початковими умовами, а fcns – множина змінних, відносно яких потрібно знайти розв`язок. Maple намагається знайти аналітичний вираз для формули загального члена послідовності заданої рекурентним співвідношенням. Знайдемо розв'язок рекурентного рівняння для чисел Фібоначчі, яке задається рекурентним співвідношенням F(n)=F(n-1)+F(n-1) з початковими умовами F(0)=F(1)=1.

>**rsolve({F(n)=F(n-1)+F(n-2), F(0)=0, F(1)=1}, {F});**

$$\left\{\mathrm{F}(n)=\frac{\sqrt{5}\left(\frac{\sqrt{5}}{2}+\frac{1}{2}\right)^{n}}{5}-\frac{\sqrt{5}\left(-\frac{\sqrt{5}}{2}+\frac{1}{2}\right)^{n}}{5}\right\}$$

Команда **rsolve(eqns, fcns, 'genfunc'(z)),** знаходить звичайну породжуючу функцію числової послідовності заданої рекурентним співвідношенням. Наприклад для чисел Фібоначчі отримуємо

>**rsolve({F(n)=F(n-1)+F(n-2), F(0)=0, F(1)=1}, {F}, 'genfunc'(z));**

$$\{\mathrm{F}(z)=-\frac{z}{z^2+z-1}\}$$

Аналогічно знаходяться вирази для породжуючих функцій системи рекурентних рівнянь

>**rsolve({s(n) = s(n-1) + t(n-1), t(n) = s(n) + t(n-1), s(0)=0, t(0)=1}, {s, t}, 'genfunc'(z));**

$$\left\{ s(z) = \frac{z}{z^2 - 3z + 1},\ t(z) = -\frac{z-1}{z^2 - 3z + 1} \right\}$$

Для систематичного застування техніки породжуючих функцій в Maple використовується пакет **genfunc**

>**with(genfunc);**

$$[rgf_charseq, rgf_encode, rgf_expand, rgf_findrecur, rgf_hybrid, rgf_norm, rgf_pfrac, rgf_relate, rgf_sequence, rgf_simp, rgf_term, termscale]$$

Розглянемо основні команди пакету. Команда **rgf_encode** повертає породжуючу функцію послідовності, яка задана формулою загального члена.

>rgf_encode(2^n, n, z);

$$\frac{1}{1-2z}$$

Команда **rgf_expand**, навпаки, за заданою породжуючою функцією повертає формулу загального члена послідовності, яку вона визначає

>**rgf_expand(1/(1-2*z),z,n);**

$$2^n$$

Функція **rgf_findrecur** заданої послідовності натуральних чисел знаходить лінійне рекурентне співвідношення якому задовольняють члени цієї послідовності. Формат функції **rgf_findrecur**(k, seq, F, n), де k – ціле число, порядок рекурентного рівняння, seq – список членів послідовності, F – ім'я послідовності, n – ім'я індексної змінної послідовності.

>rgf_findrecur(2, [1, 2, 3, 4], t, n);

$$t(n) = 2\,t(n-1) - t(n-2)$$

Команда **rgf_hybrid** знаходить породжуючу функцію добутку Адамара кількох послідовностей заданих своїми породжуючими функціями. Породжуюча функція квадрату чисел Фібоначчі має вигляд

>**rgf_hybrid(z,-z/(z^2+z-1),-z/(z^2+z-1));**

$$F2 := \frac{-z^2 + z}{z^3 - 2z^2 - 2z + 1}$$

Команда **rgf_term** знаходить коефіцієнти породжуючої функції

>rgf_term(1/(1-2*z), z, 100);

1267650600228229401496703205376

Сумування. Для знаходження в символьному вигляді скінчених та нескінчених комбінаторних сум використовується потужна команда **sum.**

>**Sum(i,i=1..n)=factor(sum(i,i=1..n)),Sum(i^2,i=1..n)=factor(sum(i^2,i=1..n));Sum(i^3,i=1..n)=factor(sum(i^3,i=1..n)),Sum(i^4,i=1..n)=factor(sum(i^4,i=1..n));**

$$\sum_{i=1}^{n} i = \frac{n(n+1)}{2},\ \sum_{i=1}^{n} i^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$$

$$\sum_{i=1}^{n} i^3 = \frac{n^2(n+1)^2}{4},\ \sum_{i=1}^{n} i^4 = \frac{n(n+1)(2n+1)(3n^2+3n-1)}{30}$$

Maple також обчислює нескінченні суми, при потребі виражаючи їх через стандартні функції

>**Sum(1/(x^2+i^2),i=1..infinity)=simplify(sum(1/(x^2+i^2),i=1..infinity));Sum(1/(x^2+i^2),i=1..infinity)=simplify(sum(1/(x+i)^2,i=1..infinity));**

$$\sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{i^2 + x^2} = \frac{1}{2}\,\frac{\pi \coth(\pi x)\,x - 1}{x^2}$$

$$\sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{i^2 + x^2} = \Psi(1, x+1)$$

Висновки. В статті запропонована методика вивчення деяких розділів комбінаторики з використанням відомої системи комп'ютерної алгебри Maple. Такі підходи, на думку авторів, сприятимуть активізації навчально-пізнавальної діяльності студентів та підвищать ефективність організації їхньої самостійної роботи. Крім того вони внесуть новизну в традиційні методи навчання, які зараз характеризуються пасивністю та епізодичним безсистемним використанням інформаційних технологій. В статті надано опис основних команд пакетів ***combinat*** та ***genfunc*** системи комп'ютерної алгебри **Maple**. Розглянуто способи розв'язання деяких типових комбінаторних задач.

Література

1. Blythab B. Using Maple to implemente Learning integrated with computer aided assessment / B. Blythab, A. Labovic // International Journal of Mathematical Educationin Science and Technology. —2009. — 40(7). — P. 975–988.

2. Chvatalova Z. Education of Economics with Maple / Z. Chvatalova, J. Hrebicek // Proceedings of the 30th international conference mathematical methods in economics, Karviná, CzechRepublic, 2012. — P. 435–440.

3. Pierce, R., Stacey, K. Developing algebraic insight. Mathematics Teaching 203, 2007. P. 12–16.

4. Adym E. The use of computers in mathematics education: A paradigm shift from “computer assisted instruction” towards “student rogramming” / E. Adym // The Turkish Online Journal of Educational Technology. – 2005. – 4(2). – P. 27–34.

5. Adams P. Introduction To Mathematics With Maple / Adams P., Smith K., Vyborny R. – World Scientific Pub Co Inc, 2004. – 544 p.

6. Васильев А. Н. Maple 8. Самоучитель / А.Н. Васильєв. — М. : Диалектика, 2003. — 352 с.

7. Tucker Alan, Applied Combinatorics, (2012). John Wiley&Sons, 498 p.

8. Бедратюк Г. Використання Maple при вивченні дисципліни "Методи синтезу та оптимізації" / Г. Бедратюк // Збірник наукових праць ФПМКТ. – Хмельницький : ХНУ, 2010. – № 1(3). – С. 137–141.

9. Бедратюк Л. Computer algebra systems in graph theory / Л. Бедратюк, Г. Бедратюк // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2012. – Vol. 6, N 4(60). – P. 43–46.

10. Бедратюк Л. Computer algebra systems in the elementary number theory / Л. Бедратюк, Г. Бедратюк // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2013. – Vol. 6, N 4(66). – P. 10–13.

11. Бедратюк Л. Використання системи комп’ютерної алгебри MAPLE для розв’язання задач оптимізації / Л. Бедратюк, Г. Бедратюк // Вісник Хмельницького національного університету. *Технічні науки. – 2014. – № 5. – С. 247*–252.

12. Бедратюк Л.П. Використання системи комп’ютерної алгебри MAPLE в класичних криптосистемах / Л.П. Бедратюк, Г.І. Бедратюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 6 *(231). – С. 148–153.*

Рецензія/Peer review : 26.3.2017 р. Надрукована/Printed :24.4.2017 р.
Стаття прорецензована редакційною колегією

УДК 621.317

В.С. ПЕТРУШАК
Хмельницький національний університет

ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ЧАСТОТНОГО КОМПАРАТОРА В РОТАЦІЙНОМУ ВІСКОЗИМЕТРІ З ФАЗОЧАСТОТНИМ ПЕРЕТВОРЕННЯМ ІНФОРМАТИВНОГО ПАРАМЕТРА

В роботі досліджено два алгоритми порівняння частот періодичних сигналів. Вказано на переваги та недоліки використання паралельного та послідовного методу порівняння частот. Обґрунтовано необхідність застосування частотного компаратора (ЧК) в перетворювачі інформативного параметра для ротаційного віскозиметра (РВ). Досліджено вплив зміни частоти на кількість періодів порівняння. Запропоновано варіант ЧК зі схемою корекції для РВ з фазочастотним перетворенням інформативного параметра.

Ключові слова: динамічна в'язкість, кут фазового зсуву, ротаційний віскозиметр, фазовий цикл, фазочастотний перетворювач, частотний компаратор.

V.S. PETRUSHAK
Khmelnytsky National University

CHOICE AND RATIONALE OF FREQUENCY COMPARATOR IN ROTARY VISCOMETER WITH PHASE-FREQUENCY TRANSFORMATION OF INFORMATIVE PARAMETER

In the article describes two algorithms compare the frequency of periodic signals. Specified on the advantages and disadvantages of using parallel and consistent method of comparison frequencies. The necessity of the use of the frequency comparator (FC) as transducers informative parameter for rotational viscometer (RV). The effect of frequency change in the number of periods of comparison. The variant of the FC circuit for correcting phase-frequency transformation of RV informative parameter.

Keywords: angle of phase shift, dynamic viscosity, rotary viscometer, phase cycle, phase-frequency converter, frequency comparator.

Вступ

Серед виробників сучасних ротаційних віскозиметрів здебільшого закордонні фірми, зокрема HAAKE та Brookfield. В більшості з них покращення характеристик досягається шляхом зменшення паразитних параметрів: тертя в механічній системі, нелінійності характеристики торсіону, електромагнітних наведень в електричній схемі та збільшення таких параметрів, як коефіцієнт редукції сенсорів і кількість розрядів електричної схеми [1]. В більшості випадків це призводить до збільшення собівартості ротаційних віскозиметрів, застосування їх тільки для окремої групи речовин і використання кваліфікованого обслуговуючого персоналу. Застосування в ротаційних віскозиметрах новітніх фазочастотних методів та принципів вимірювання повного фазового зсуву дозволяє створити універсальні прилади із розширеним динамічним діапазоном, високою точністю та високим ступенем автоматизації. Розробка засобу підвищення точності в ротаційному віскозиметрі на базі фазочастотного методу зумовлена необхідністю точної реєстрації крутних моментів, що дає можливість дослідження різноманітних характеристик речовини без спотворення результатів вимірювань. Проблема вимірювання динамічної в'язкості речовини є актуальною в широкому колі вимірювальних задач, тому пошук нових методів, аналіз їх похибок та розробка засобів підвищення точності в ротаційних віскозиметрах на базі фазочастотного методу є перспективною і має наукову значимість і практичну цінність.

Експериментальна частина

Як вже було сказано в [2], в перетворювачі інформативного параметра для РВ на базі фазочастотного методу, кількість фазових циклів (ФЦ) визначається від початку вимірювання до t_2, а вимірювання миттєвого значення фазового зсуву можливе за умови, що $\omega_1 = \omega_2$, тобто з моменту t_2. Тому необхідно, щоб в фазочастотному перетворювачі (ФП) був присутній ЧК, який би виконував дану рівність і видавав сигнал на початок вимірювання $\varphi_M(t)$. Для розробленого РВ можливо два способи порівняння частот вхідних сигналів:

1. Порівняння частот вхідних сигналів з обох каналів між собою.
2. Порівняння частот вхідних сигналів з заданим значенням частоти обертання сприймаючого елементу.

Перший спосіб можна описати наступним перетворенням:

$$\left\{\begin{array}{l} f_1 \Rightarrow N_1 = \dfrac{f_{кв}}{f_1} \\ f_2 \Rightarrow N_2 = \dfrac{f_{кв}}{f_2} \end{array}\right| \Rightarrow (N_1 = N_2)?, \quad (1)$$

де f_1, f_2 – частоти сигналів з першого і другого каналів;

N_1, N_2 – двійкові коди, еквівалентні частотам сигналів з першого і другого каналів.

Для першого способу спочатку відбувається паралельне перетворення частот сигналів відповідних каналів у двійковий код, а потім перевіряється рівність двійкового коду першого каналу двійковому коду другого каналу. Алгоритм роботи ЧК, який описує принцип паралельного порівняння частот вхідних сигналів з обох каналів між собою, представлений на рис. 1.

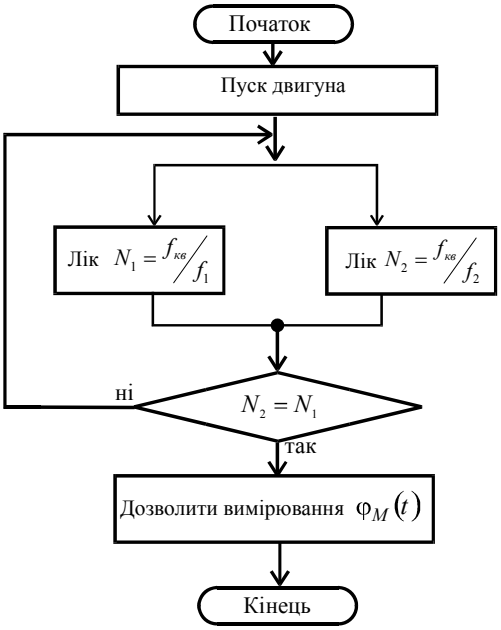


Рис. 1. Алгоритм порівняння частот вхідних сигналів з обох каналів

Алгоритм, представлений на рис. 1, описує таку послідовність операцій:

1. Пуск двигуна на певне значення частоти обертання сприймаючого елементу.
2. Підрахунок кількості імпульсів $N_1 = f_{кв}/f_1$, що надійшли за один період сигналу з першого каналу.
3. Підрахунок кількості імпульсів $N_2 = f_{кв}/f_2$, що надійшли за один період сигналу з другого каналу.
4. Перевірка умови $N_1 = N_2$.
5. В разі нерівності умови за п.4 перехід до п. 2.
6. В разі рівності умови за п. 4 перехід до п.7.
7. Вимірювання миттєвого значення фазового зсуву $\varphi_M(t)$.

Другий спосіб порівняння частот вхідних сигналів можна описати за допомогою перетворення:

$$\left\{\begin{array}{l} f_1 \Rightarrow N_1 = \dfrac{f_{кв}}{f_1} \\ f_2 \Rightarrow N_2 = \dfrac{f_{кв}}{f_2} \\ \omega_0 \approx f_0 \approx N_0 \end{array}\right| \Rightarrow (N_1 = N_0 \Rightarrow N_2 = N_0)?\,, \qquad (2)$$

де f_0 – задане значення частоти сигналу, еквівалентне частоті обертання сприймаючого елементу ω_0;

N_0 – двійковий код еквівалентний заданому значенню частоти.

Відповідно відбувається паралельне перетворення частот сигналів першого і другого каналів у двійковий код, а потім– послідовна перевірка рівності двійкового коду першого каналу із заданим значенням двійкового коду і перевірка рівності двійкового коду другого каналу із заданим значенням двійкового коду. Алгоритм роботи ЧК, який описує принцип послідовного порівняння частот вхідних сигналів обох каналів із заданим значенням частоти, представлений на рис. 2.

За алгоритмом послідовного порівняння частот вхідних сигналів, представленим на рис. 2, виконується наступна послідовність операцій:

1. Пуск двигуна на певне значення частоти обертання сприймаючого елементу $\omega_0 \approx f_0 \approx N_0$.
2. Підрахунок кількості імпульсів $N_1 = f_{кв}/f_1$, що надійшли за один період сигналу з першого каналу.

3. Перевірка умови $N_1 = N_0$.

4. Якщо умова 3 не виконується, то перехід до п.2.

5. Якщо умова 3 виконується то перехід до п.6.

6. Підрахунок кількості імпульсів $N_2 = f_{кв}/f_2$, що надійшли за один період сигналу з другого каналу.

7. Перевірка умови $N_2 = N_0$.

8. Якщо умови 7 не виконується, то перехід до п. 6.

9. Якщо умова 7 виконується, то перехід до п.10.

10. Вимірювання миттєвого значення фазового зсуву $\varphi_M(t)$.

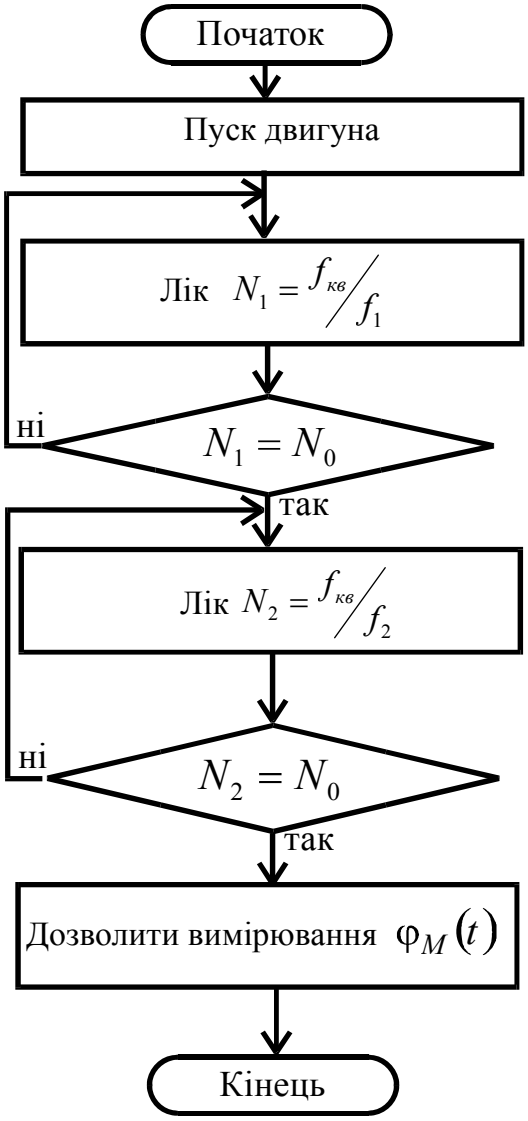


Рис. 2. Алгоритм послідовного порівняння частот вхідних сигналів

Також можна зауважити, що час порівняння двох частот для першого способу буде менший ніж для другого, оскільки паралельне порівняння частот буде виконуватись швидше ніж послідовне, що веде до необхідності використання паралельного частотного компаратора в РВ.

Принцип роботи ЧК для РВ, що розробляється, полягає в порівнянні значення частот сигналів, що надходять з підсилювачів-обмежувачів РВ між собою в установленому режимі і в разі їх рівності появи сигналу дозволу на вимірювання фазового зсуву цифровим миттєвим фазометром (ЦМФ). Як вже було сказано раніше для даного розробленого РВ можливо два варіанти порівняння частот вхідних сигналів: паралельний; послідовний.

Особливостями необхідного частотного компаратора є:

1. Порівняння двох частот вхідних сигналів зсунутих по фазі.

2. Порівняння двох частот вхідних сигналів з різною шпаруватістю.

3. Видача сигналу дозволу на вимірювання ЦМФ за умови рівності $\omega_1 = \omega_2$.

Проаналізувавши принцип роботи існуючих ЧК було встановлено, що дві перші умови задовольняє

частотний компаратор, описаний в роботах [3, 4]. Функціональна схема такого ЧК зображена на рис. 3 [4]. На ній позначено: ФІ – формувач коротких імпульсів, СЗ – схема збігу, І – інвертор, Т – тригер. Як видно з функціональної схеми цей компаратор складається із цифрових елементів, а отже дозволяє порівнювати частоти у широкому діапазоні.

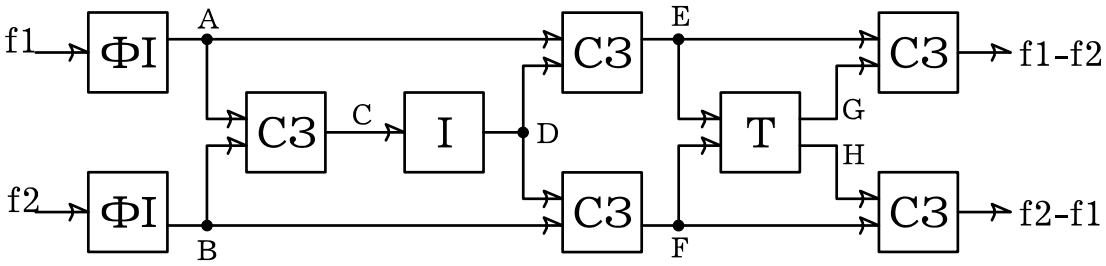


Рис. 3. Функціональна схема частотного компаратора

Дослідивши ЧК у випадку, коли частота ω_1 більша за ω_2 встановлено, що на виході F1-F2 з'являються короткі імпульси. Коли на входи ЧК подано дві однакові частоти ω_1 і ω_2, то на виходах F1-F2 і F2-F1 короткі імпульси відсутні. Під час дослідження двох сигналів з однаковими частотами, зсунутих по фазі на деякий кут у протифазі було встановлено, що у таких випадках на виходах F1-F2 і F2-F1 імпульси також відсутні. Відповідно можна зробити висновок, що даний ЧК не реагує на зсув фази між вхідними сигналами. Також слід зауважити, що такий ЧК, як показали дослідження, коли на вхід ЧК подавали сигнали з двома однаковими частотами ω_1 і ω_2, але з різною шпаруватістю, може точно порівнювати частоти сигналів з різною шпаруватістю.

Також можна зауважити, що даний ЧК може бути застосований в розробленому РВ з фазочастотним перетворенням інформативного параметру і має наступні переваги перед іншими:

- працює у широкому діапазоні частот;
- має високу швидкодію;
- не чутливий до фазового зсуву між частотами, що порівнюються;
- можливість порівняння частот сигналів з різною шпаруватістю.

Як видно з рис. 4 дослідження показали, що залежність кількості періодів N, після якого на виході ЧК є сигнал дорівнює:

$$N = \frac{\omega_1}{\omega_1 - \omega_2} \tag{3}$$

за умови $\omega_1 > \omega_2$.

Щодо розрізнювальної здатності або точності порівняння двох частот у ЧК, то вона залежить від тривалості імпульсів, які формують формувачі імпульсів. Як показують дослідження, збільшення тривалості імпульсів на виходах формувачів імпульсів призводить до грубих помилок вимірювання. Отже, можна зробити висновок, що для точного порівняння двох частот таким ЧК тривалість імпульсів на виходах формувачів імпульсів повинна бути як мінімум у два рази меншою, ніж тривалість періоду найбільшої частоти, яка буде порівнюватися у такому ЧК.

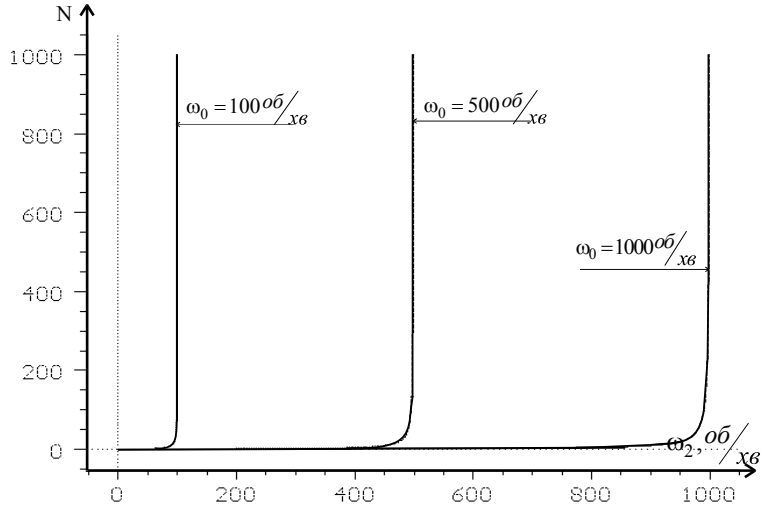


Рис. 4. Вплив зміни частоти на кількість періодів порівняння

Необхідно також зауважити, що такий ЧК працює за умови, коли вхідні частоти сталі, так і за умови

зміни частоти, але в цьому випадку необхідна певна схема корекції.

На виході схеми корекції буде сигнал дозволу вимірювання фазового зсуву тільки тоді, коли встановиться режим і $\omega_1 = \omega_2$ через задану кількість періодів N сигналу з першого підсилювача-обмежувача[2]. Функціональна схема такого частотного компаратора зображена на рис. 5, а часові діаграми – на рис. 6.

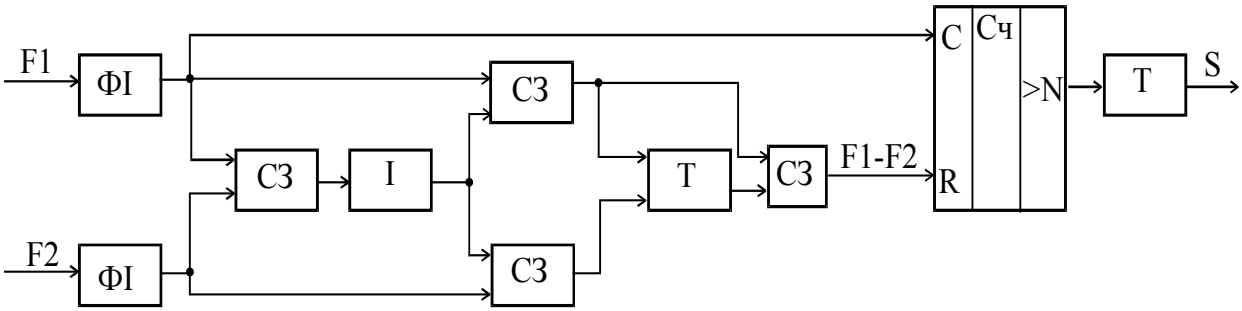


Рис. 5. Функціональна схема частотного компаратора зі схемою корекції

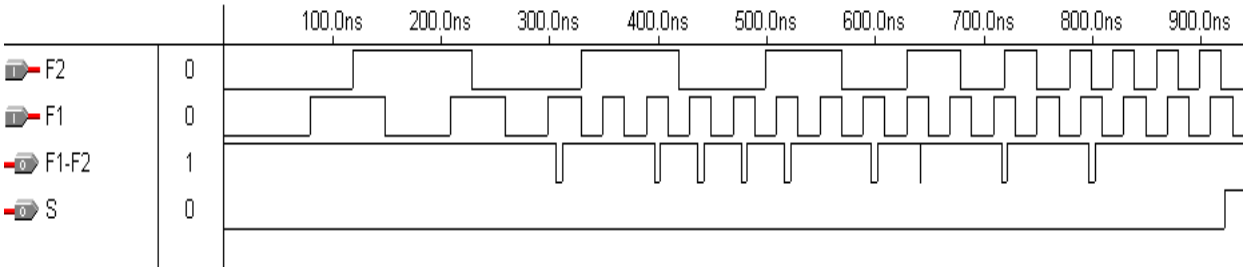


Рис. 6. Часові діаграми роботи частотного компаратора зі схемою корекції

Працює такий ЧК наступним чином. Оскільки процес вимірювання РХ починається з нуля, то на виході $f_1 - f_2$ ЧК 1, будуть з'являтися прямокутні імпульси різної частоти, які будуть занулювати лічильник 2. Як тільки частоти f_1 і f_2 стануть рівними, на виході $f_1 - f_2$ прямокутних імпульсів не буде і лічильник почне рахувати імпульси, що надходять на вхід f_1 ЧК 1. Коли лічильник нарахує необхідну кількість імпульсів на виході $> N$ з'явиться сигнал високого рівня, який установить на виході S тригера високий рівень, що і буде сигналом дозволу вимірювання фазового зсуву і підрахунку кількості ФЦ.

Висновки

1. Досліджено паралельний та послідовний алгоритми порівняння частот періодичних сигналів, встановлено їх переваги і недоліки та обрано ЧК для РВ з фазочастотним перетворенням інформативного параметра.

2. Встановлено, що для точного порівняння двох частот обраним ЧК тривалість імпульсів на виходах формувачів імпульсів повинна бути як мінімум у два рази меншою, ніж тривалість періоду найбільшої частоти, яка буде порівнюватися у такому ЧК.

3. Запропоновано схему ЧК зі схемою корекції для РВ з фазочастотним перетворенням інформативного параметра, на виході якого є сигнал дозволу вимірювання фазового зсуву тільки тоді, коли встановиться режим і $\omega_1 = \omega_2$ через задану кількість періодів сигналу з першого підсилювача-обмежувача.

Література

1. Крутоголов В. Д. Ротационные вискозиметры / Крутоголов В. Д. Куланов М. В. – М. : Машиностроение, 1984. – 112 с.

2. Петрушак В.С. Фазочастотне представлення вимірювань в'язкості ротаційним віскозиметром з торсіометричним перетворювачем / В.С. Петрушак //ВОТТП. – 2000. – № 4. – С. 87–90.

3. Войтюк О.П. Дослідження фазочастотних компараторів для вимірювання частоти / О.П. Войтюк, І.В. Троцишин //ВОТТП. – 1999. – № 1. – С. 54–58.

4. А.с. № 1191839 G01R 23/02. Устройство для сравнения частот / В.Е. Брагин., А.В.Макаров. – Бюл. № 42. 1985.

Рецензія/Peer review : 9.3.2017 р. Надрукована/Printed :20.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Бойко Ю.М.

УДК 004.4

Т.К. СКРИПНИК, С.С. ПЕТРОВСЬКИЙ, О.В. ВОЛОШИН
Хмельницький національний університет

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ASP.NET ПРИ РОЗРОБЦІ WEB-ЗАСТОСУВАННЯ

В статті розглянуто працездатність технології веб-розробки ASP.NET на базі створеного сайту кафедри КНІТ Хмельницького національного університету. Наведені основні сучасні технології веб-розробки, з-поміж яких обрано технологію ASP.NET. Розглянуто три основних тестування вибраної технології, в результаті яких отримано показники роботи сайту на технології ASP.NET. Кожен тип тестування описано зрозумілим чином як для звичайного користувача, так і для спеціаліста з веб-технологій. Кожне з досліджень проведено з допомогою спеціальних інструментів для тестування веб-додатків. Виконано дослідження роботи сайту, на основі яких отримано результат ефективності створеної веб-системи для навчального закладу.

Ключові слова: asp.net, php, БД, веб-сайт.

T.K. SKRYPNYK, S.S. PETROVSKY, O.V. VOLOSHYN
Khmelnytskyi National University

EFFICIENCY OF TECHNOLOGY ASP.NET IN DEVELOPING WEB-SITE

In the article considered the performance of web development technologies ASP.NET. Website of Department KNIT Khmelnytsky National University, that was based on this technology. Described some main technologies for web-sites, and each of its choose one web-technology ASP.NET, that based on language C#. The basic technology of modern web-development are described in article, among which the chosen technology is ASP.NET. After research of working the website, received the result of efficiency. Considered three basic tests for chosen technology and as a result of which received performance of the website on technology ASP.NET. Every type of testing are clear for the user and for specialist of web-technologies. Each of the research are conducted with the help of special tool for testing web applications. The research of the site on the results obtained established the efficiency of Web systems for the university. In the end of article in the conclusion of researching website received performance of web-technology.

Keywords: asp.net, php, db, website.

Постановка проблеми. Сучасний час характеризується інформатизацією суспільства. Головним чинником інформаційного суспільства є глобальна мережа Інтернет. Інтернет є каталізатором до поширення інформації. В Інтернеті знаходяться мільйони веб-сайтів різного спрямування. Створення та підтримка веб-сайту є складною інженерною задачею. Саме тому все більше поширюються технології розробки, що конкурують одна з одною у простоті та можливостях створення веб-сайтів. Проте кожна технологія має свої особливості, переваги та недоліки [1]. Для створення веб-сайтів необхідно вибирати ту технологію, яка в даній ситуації буде більш працездатною для конкретного функціоналу сфери застосування. Тому і є актуальним аналіз технологій розробки веб-застосунків. Основною метою статті є аналіз *технології веб-розробки ASP.NET на базі сайту кафедри КНІТ*.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для порівняння обраних технологій слід обрати такі критерії порівняння, що будуть найкраще демонструвати переваги та недоліки кожної. Критерії порівняння мають продемонструвати які технології доцільніше використовувати в яких ситуаціях та які в них є можливості. Беручи до уваги те, що порівнюватися будуть технології з окремих груп (серверні та клієнтські технології), необхідно обрати різні критерії порівняння для різних груп.

Наведемо перелік обраних критеріїв порівняння серверних технологій:

- перелік СКБД, що підтримуються технологією. Наявність підтримки тої чи іншої СКБД впливає на можливість використання технології, коли проект, під який розроблюється веб-сайт, вже має налагоджену і заповнену базу даних. Також різноманітність підтримуваних СКБД демонструє можливості до масштабування веб-сайту;
- важкість вивчення – важливий критерій, що визначає поріг входження нових розробників в технологію. Проте низький поріг входження також може значити більшу кількість проектів, що написані початківцями та як наслідок мають низьку якість коду;
- швидкодія – цей критерій має дуже велику цінність, бо часто саме він є домінуючим при обранні технологій. Часто низька швидкодія є фактором, що відштовхує користувачів при користуванні веб-сайтом;
- масштабованість – цей критерій також має велику цінність, бо визначає можливість витримувати велику кількість користувачів, що одночасно використовують веб-сайт.

ASP.NET застосування зазвичай розробляються на C#. C# заснований на мові C, яка може бути важкою для вивчення для більшості новачків. Його синтаксис є складним і важким для читання, навіть для досвідчених програмістів. Люди, незнайомі з програмуванням, знайдуть ASP.NET не кращим вибором.

З іншого ж боку PHP може бути кращим вибором для вивчення (через це навіть серед досвідченні програмістів домінує переконання, що усі PHP розробники - початківцями). Завдяки цьому досить вивчити декілька ключових можливостей PHP, щоб почати розроблювати сайти на системі керування WordPress майже одразу [4].

Швидкодія для більшості веб-додатків є взаємодії між кодом, базою даних та сервером. Більшість

веб-додатків, що написані на PHP, використовують LAMP стек - Linux (ОС), Apache (сервер), MySQL (база даних) і PHP (скриптова мова). LAMP стек є надзвичайно популярним для веб-розробки тому, що оптимізований для підвищення продуктивності. Базою даних, що найбільш часто використовується з ASP.NET, є MSSQL (Microsoft SQL Server), хоча можна також використовувати MySQL та багато інших баз даних. Різниця швидкодії ASP.NET та MSSQL і PHP та MySQL дуже мала, але все ж таки PHP та MySQL трохи обходить ASP.NET та MSSQL.

Іншим фактором, який впливає на швидкодію є ОС(операційна система) і файлова системи, що використовується на сервері. Більшість тестів на працездатність показують, що ОС Linux з файловою системи ext4 має більш високу швидкість читання та запису у порівнянні з ОС Windows з її файловою системою NTFS. Таким чином, більш ймовірно, що додаток PHP працюватиме на веб-хостингу Linux, що швидше аналогічної програми на ASP.NET на ОС Windows. Проте слід пам'ятати, що не аби який вплив має якість написаного коду та архітектура бази даних.

Технології ASP.NET і PHP мають високу масштабованість. В якості прикладу можна згадати, що соціальна мережа Facebook, другий найбільш інтенсивно зростаючий web-ресурс у світі, побудований на PHP, а соціальна мережа MySpace, що була витіснена Фейсбуком, побудована на ASP.NET. Це ілюструє, що як ASP.Net так і PHP високо масштабовані, за умови, що розробники знають, як масштабувати їх продукти.[5]

Постановка цілей. З поміж сучасних технологій розробки веб-сайтів потрібно на основі створеного сайту КНІТ(кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій) Хмельницького національного університету розглянути і дослідити технологію розробки цього сайту, ASP.NET. Провести основні види досліджень по працездатності даної технології відносно звичайного користувача.

Основна мета статті – це розгляд та дослідження ефективності працездатності технології ASP.NET сайту кафедри КНІТ Хмельницького національного університету. По-перше, потрібно оцінити, які технології є найбільш простими та дозволяють створити даний веб-сайт швидше за всі, і які надають сайту найбільше можливостей й гнучкості. По-друге, на основі результатів отриманих в конкретних дослідженнях, дати оцінку вибраної технології існуючого сайту.

Виклад основних матеріалів дослідження. Сучасні технології створення та підтримки веб-сайтів орієнтовані на платформи, що дозволяють ефективно керувати інформаційним наповненням і даними, які надходять від відвідувачів сайту. Як правило, такі рішення базуються на серверних технологіях типу ASP, ASP.NET, JSP, PHP або використовують готові потужні засоби для створення корпоративних сайтів, що орієнтовані на впровадження вказаних технологій. Розглянемо детальніше популярні інформаційні технології.

Створення веб-сторінок за фрагментами серверного коду є технологією ASP, ASP.NET (Active Server Pages). Це розроблена корпорацією Microsoft комерційно доступна технологія, за допомогою якої веб-майстер може самостійно формувати динамічно поновлювальні веб-сторінки. Характерною особливістю такої технології є можливість відокремлення функціональної частини розробки від процесів створення дизайну. ASP-сторінки можуть містити HTML-текст, змішаний зі сценаріями мов JavaScript і VBScript. У процесі обробки запиту нової сторінки його виконує сервер і динамічно генерує браузеру потік HTML-тексту, що відображується на екрані монітора. ASP-технологія Microsoft набула подальшого розвитку у технологіях JSP, PHP та ін. [1].

Технологія JSP (Java Server Pages) − це технологія створення серверних сторінок Java. Специфікація JSP є розширенням Java Servlet API для генерації динамічних веб-сторінок на веб-сервері. Така крос-платформа є альтернативою технології ASP корпорації Microsoft. Специфікація Sun за назвою JSF (Java Server Faces) реалізує технологію JSP, що описує правила створення веб-додатків зі зручним для користувача інтерфейсом та орієнтована на розробку серверних компонентів створення інтерфейсу [2].

Серед інших популярних технологій, які реалізують створення веб-сторінок із фрагментами коду, виконуваного на сервері, виділимо некомерційну, вільно розповсюджувану технологію PHP (Personal Home Pages). Головною особливістю мови PHP є її практичність. PHP надає програмісту інструмент для швидкого й ефективного вирішення поставлених завдань. Вона вирізняється винятковою гнучкістю до потреб розробника. Хоча PHP традиційно рекомендують використовувати у поєднанні з HTML-кодом, проте PHP з таким же успіхом інтегрується і в JavaScript, WML, XML та інші мови Інтернет-програмування [3].

Тому для визначення ефективності роботи обраної технології встановлено ряд тестів, які будуть проведені з сайтом КНІТ:

1. Кросбраузерність.

В цілі тестування сайту, створеного на технології ASP.NET на кросбраузерність було обрано браузери: Microsoft Edge, Google Chrome. Кожен з браузерів використовує свій графічний «рушій». Edge для відображення веб-сторінок використовує Trident, який користувався великою популярністю користувачів для перегляду веб-контенту до виходу нового «рушія» WebKit, що використовує Google Chrome. Головним плюсом нової графічної системи є те що вона «open source» та не потребує додаткової платної ліцензії для звичайного користувача.

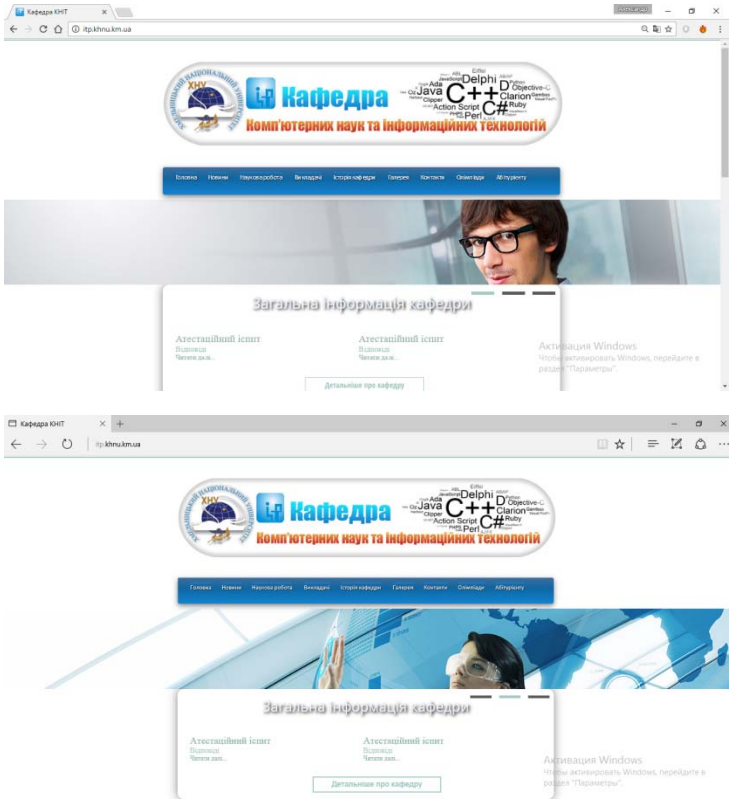


Рис. 1. Відображення сайту в браузерах (1 рисунок – GoogleChrome, 2 рисунок – Microsoft Edge)

Як видно з рисунків вище, сайт написаний на даній технології відображається на різних браузерах потрібним чином, що і є успішним результатом працездатності ASP.NET.

2. Швидкість завантаження вибраних елементів сайту.

На відміну від технології PHP, технологія ASP.NET дозволяє використати Microsoft інструменти, одним з яких є фреймворк ADO.NET Entity Framework. що є зручним інструментом модифікації бази даних в C# коді, без втручання до самої БД. Але недоліком є те, що час з'єднання з БД відбувається все ж повільніше ніж в PHP.

Для проведення тесту на швидкість роботи сайту з БД було використано набір інструментів Chrome DevTools. Chrome Developers Tools є інструментами для тестування сайту та модифікації, перевірки працездатності веб-додатку, створеного на певній технології. Даний набір інструментів є вміщеним в веб-браузер Google Chrome. DEV Tools дозволяє розробникові досліджувати швидкість реагування вибраних елементів веб-контенту.

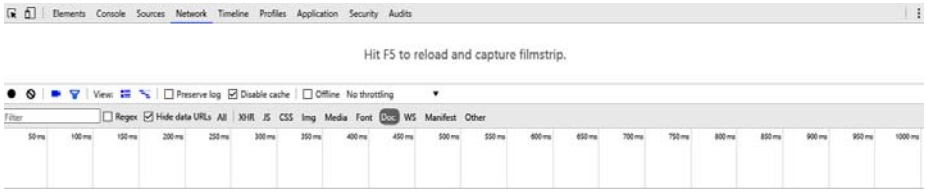


Рис. 2. Панель інструментів для розробника в Google Chrome

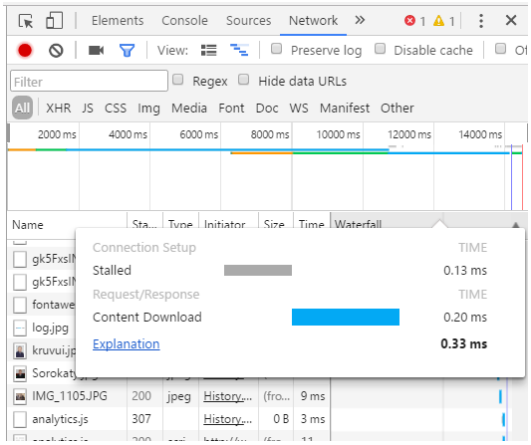


Рис. 3. Результати тесту для визначення часу завантаження сторінки на сайті

Як видно з результатів тесту, повне завантаження веб-сторінки «Історія кафедри» відбулось за 0,33 мс, що є досить добрим результатом роботи як самого сервер-хостингу, так і якості працездатності технології з базою даних.

3. Навантажувальне тестування

Для дослідження часу відгуку системи на високих або пікових навантаженнях виробляється стрес-тестування, при якому створюване на систему навантаження перевищує нормальні сценарії її використання. Не існує чіткої межі між навантажувальним і стрес-тестуванням, однак ці поняття не варто змішувати, так як ці види тестування відповідають на різні бізнес-питання і використовують різну методологію. Веб-сайт КНІТ розрахований на 75 одночасно працюючих користувачів, які слідують деякому певному сценарію (задані дії в зазначених пропорціях):

- 25 користувачів переглядають необхідну інформацію і виходять із системи.
- 25 користувачів додають дані у базу, оформляють їх і виходять із системи.
- 25 користувачів входять в систему і не проявляють ніякої активності.

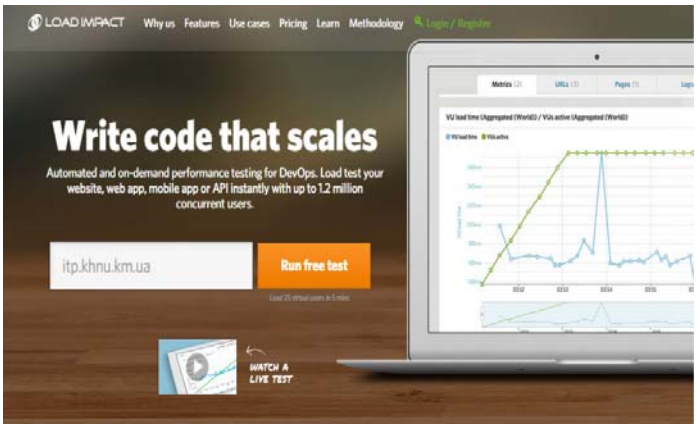


Рис. 4. Головна сторінка сервісу з уведеними даними

Результати тестування зображені на рисунку 5, 6.

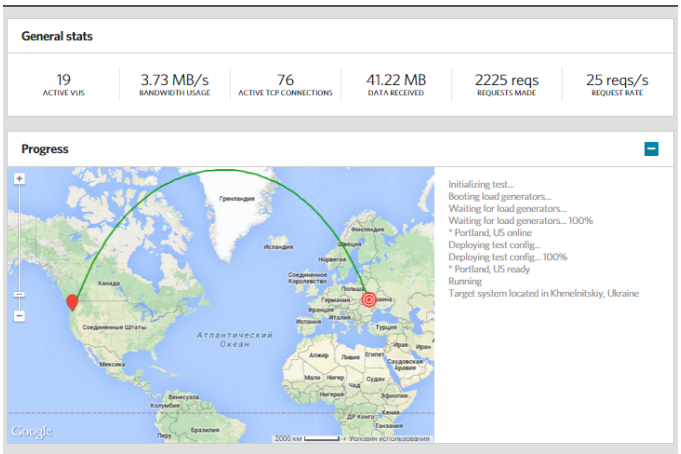


Рис. 5. Шлях тестування

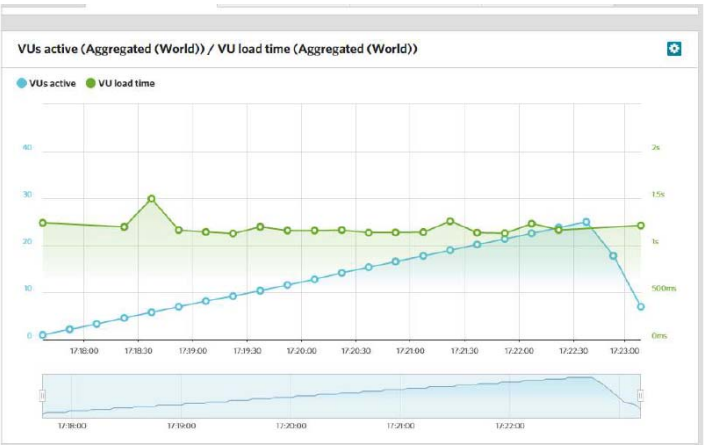


Рис. 6. Результати тестування

В даному випадку тестування навантаження повинне емулювати вищеописаний типовий сценарій роботи з веб-сервісом з метою упевнитися, що система готова до виходу в експлуатацію. При цьому для аналізу можуть зніматися показники продуктивності системи в цілому або кожного вузла системи зокрема. Для навантажувального тестування використовується сервіс https://loadimpact.com/, зображений на рисунку 4.

З результатів тестування (рисунок 6) видно, що якщо максимальний пік навантаження був на 17 хвилині. За весь час додаток вів себе добре і не залежно від кількості користувачів, тобто навантаження в 25 користувачів одночасно сайт не навантажує, є ще запас потужностей. Як висновок, в результаті тестувань, створений сайт на основі технології ASP.NET показав високі результати як на завантаженість окремих елементів сайту, так і на навантаження сайту.

Висновки. Провівши дослідження та проаналізувавши технологію ASP.NET на основі сайту КНІТ Хмельницького національного університету ми можемо зробити обґрунтований висновок про доцільність використання даної технології при створенні сайтів, високу ефективність роботи веб-додатку, швидкість відповіді сайту до запитів користувача, дизайн сайту є адаптивний до наведених браузерів. При користувацькому навантаженні розроблений сайт показав високу стійкість, незважаючи на число різних операцій на сайті, які проводились протягом обраного часового проміжку. Тому можемо констатувати, що обрана технологія ASP.NET є вдалим вибором для реалізації даного сайту, та ефективним засобом розробки веб-додатків спираючись на результати нашого дослідження.

Література

1. Бучек Г. ASP.NET : учебный курс / Г.Бучек. – СПб : Питер, 2002. – 512 с.
2. Гери Д. JavaServer Faces / Д. Гери, К. Хорстманн. – М. : Вильямс, 2008. – 576 с.
3. Котеров Д.В. PHP 4 / Д.В. Котеров. – СП : БХВ-Петербург, 2004. – 576 с.
4. Сандерсон С. ASP.NET MVC Framework с примерами на C# для профессионалов / С. Сандерсон. – М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2010. – 560 с.
5. Суэринг С. PHP и MySQL. Библия программиста / С. Суэринг, Т. Конверс, Дж. Парк ; пер. с англ. К. Птицын. – М. : Диалектика, 2010. – 912 с.
6. Jason Price, Oracle Database 11g SQL. – McGraw Hill: Osborne Media, 2007. – 656 p.

Рецензія/Peer review : 19.2.2017 р. Надрукована/Printed :23.4.2017 р.
Рецензент: д. т. н., проф. Сорокатий Р.В.

УДК 621

К.Л. ГОРЯЩЕНКО, О.П. ВОЙТЮК, С.Л. КУШНІРУК, О.В. ШЕВЧУК
Хмельницький національний університет

ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ PLC

В статті показано тенденції розвитку технології Power Line Communication – сучасної технології передачи інформації по мережі силових ліній. Застосування технології PLC дозволяє розв'язати задачу створення локальної мережі передачі даних із високою швидкістю розгортання, високою швидкістю передачі даних. Показано, що технологія PLC має широке практичне застосування, а тому для її застосування стає необхідним виконувати задачі технічного контролю стану силових проводових ліній, з метою виявлення їх деградації.

Ключові слова: силова лінія, зв'язок.

K.L. HORIASCHENKO, O.P.VOITIUK, S.L. KUSHNIRUK, O.V. SHEVCHUK
Khmelnytsky national university, Ukraine

IMPLEMENTATION OF PLC TECHNOLOGIES

The article shows the trends of technology Power Line Communication - modern technology of data transmission over the network of power lines. The application of PLC technology allows to solve the problem creating a local data network with high speed deployment, high speed data transmission. It is shown that PLC technology has wide application, and therefore to apply it becomes necessary to perform maintenance tasks wired control of power lines in order to identify their degradation.

Keywords: power line communications.

Зв'язок через ЛЕП, PLC (англ. Power line communication) - термін, який описує кілька різних систем для використання ліній електропередачі (ЛЕП) для передачі голосової інформації або даних. Мережа може передавати голос і дані, накладаючи аналоговий сигнал поверх стандартного змінного струму частотою 50 Гц або 60 Гц. PLC включає BPL (Broadband over Power Lines - широкосмугова передача через лінії електропередачі), що забезпечує передачу даних зі швидкістю до 500 Мбіт / с, і NPL (англ. Narrowband over Power Lines - вузькосмуговий передача через лінії електропередачі) зі значно меншими швидкостями передачі даних до 1 Мбіт / с.

Ще на зорі розвитку енергомереж постало питання про передачу диспетчерської інформації від одного енерговузла до іншого [2]. Використання для цих цілей телефонних і телеграфних ліній, що прокладаються паралельно ЛЕП, вважалося нераціональним, тому вже на початку 20-го століття в мережах постійного струму в США застосовувалася передача телеграфних сигналів безпосередньо по дротах ЛЕП. Пізніше, з розвитком засобів радіозв'язку, подібна методика стала застосовна і для мереж змінного струму.

Типова схема передачі диспетчерської інформації по проводах ліній електропередач широко застосовується, як один з основних видів зв'язку. Приймач підключається до ЛЕП через фільтр приєднання, утворений з конденсатора малої місткості (2200 - 6800 пикофарад) і високочастотного трансформатора (автотрансформатора). Подібна система дозволяє передавати як голосову інформацію, так і дані телеметрії і телекерування.

Діапазон частоти ВЧ-каналів зв'язку - від десятків до сотень кГц. Високочастотний зв'язок організовується між двома суміжними підстанціями, які з'єднані лінією електропередач напругою 35кВ і вище. Для того щоб змінний струм частотою 50 Гц потрапляв на шини розподільного пристрою підстанції, а сигнали зв'язку на відповідні комплекти зв'язку, використовують високочастотні загороджувачі і конденсатори зв'язку.

ВЧ-загороджувач має невеликий опір на струмі промислової частоти і великий опір на частоті каналів високочастотного зв'язку. Конденсатор зв'язку - навпаки: має великий опір при частоті 50 Гц, а на частоті каналу зв'язку - малий опір. Таким чином, забезпечується потрапляння на шини підстанції виключно струму частотою 50 Гц, на комплект ВЧ-зв'язку - тільки сигналів на великій частоті.

Для прийому і обробки сигналів ВЧ-зв'язку на обох підстанціях, між якими організована ВЧ-зв'язок, встановлюють спеціальні фільтри, приймачі сигналів і комплекти обладнання, які здійснюють певні функції. Нижче розглянемо, які саме функції можуть реалізовуватися із застосуванням ВЧ-зв'язку.

Найбільш важлива функція - використання ВЧ-каналу в пристроях релейного захисту та автоматики обладнання підстанції. ВЧ-канал зв'язку використовується в захистах ліній 110 і 220кВ - діференціальной-фазної захисту і направлено-високочастотного захисту. По обох кінцях ЛЕП встановлюють комплекти захистів, які мають зв'язок між собою по ВЧ-каналу зв'язку. Завдяки надійності, швидкодії і селективності, захисту з використанням ВЧ-каналу зв'язку використовуються в якості основних для кожної ПЛ 110-220кВ.

Існують також пристрої, які з використанням ВЧ-каналу зв'язку, визначають місце пошкодження ліній електропередач. Крім того, ВЧ-канал зв'язку може використовуватися для передачі сигналів обладнання телемеханіки, SCADA, САУ та інших систем обладнання АСУ ТП. Таким чином, по каналу високочастотного зв'язку можна здійснювати контроль над режимом роботи устаткування підстанцій, а також передавати команди управління вимикачами і різними функціями пристроїв РЗА.

Ще одна функція - функція телефонного зв'язку. ВЧ-канал можна використовувати для оперативних переговорів між суміжними підстанціями. У сучасних умовах ця функція не актуальна, так як існують більш

зручні способи зв'язку між обслуговуючим персоналом об'єктів, але ВЧ-канал може служити резервним каналом зв'язку в разі виникнення надзвичайної ситуації, коли буде відсутня мобільна або дротова телефонний зв'язок.

ВЧ-канали можуть використовувати для зв'язку з оперативно-виїзними бригадами, які здійснюють ремонт ділянок пошкоджених ліній електропередач, ліквідують пошкодження в електроустановках. Для цієї мети використовують спеціальні переносні приймачі. Технологія PLC базується на використанні силових електромереж для високошвидкісного інформаційного обміну. Експерименти з передачі даних по електромережі велися досить давно, але низька швидкість передачі і слабка перешкодозахищеність

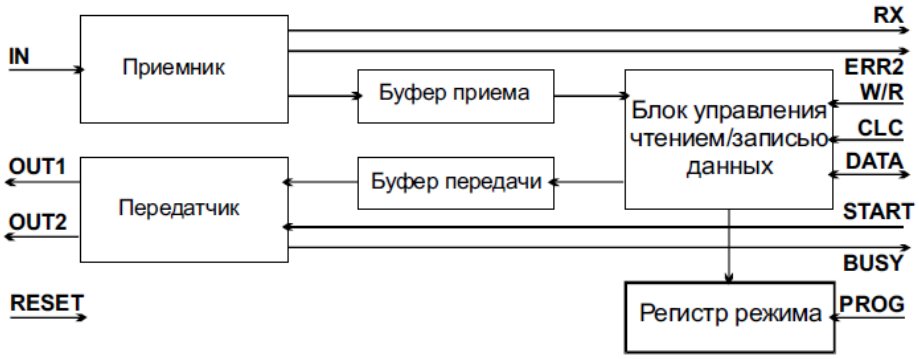


Рис. 1. Мікросхема КР1446ХК1

Технічні основи технології PLC

Основою технології PowerLine є використання частотного поділу сигналу, при якому високошвидкісний потік даних розбирається на кілька відносно низькошвидкісних потоків, кожен з яких передається на окремій частоті з подальшим їх об'єднанням в один сигнал. Реально в технології PowerLine використовуються 1536 поднесущие частоти з виділенням 84 найкращих в діапазоні 2-34 Мгц.

При передачі сигналів по побутової електромережі можуть виникати великі загасання в передавальної функції на певних частотах, що може привести до втрати даних. В технології PowerLine передбачений спеціальний метод вирішення цієї проблеми - динамічне включення і виключення передачі сигналу (dynamically turning off and on data-carrying signals). Суть даного методу полягає в тому, що пристрій здійснює постійний моніторинг каналу передачі з метою виявлення ділянки спектра з перевищенням певного порогового значення загасання. У разі виявлення даного факту, використання цих частот на час припиняється до відновлення нормального значення загасання, а дані передаються на інших частотах.

Існує також проблема виникнення імпульсних перешкод (до 1 мікросекунди), джерелами яких можуть бути галогенні лампи, а також включення і виключення потужних побутових електроприладів, обладнаних електричними двигунами.

Стандарти HomePlug AV

Є два основні стандарти. HomePlug AV і HomePlug AV2 [4]:

- HomePlug AV адаптери можуть працювати на різній швидкості. Може бути: 200 Мбіт / с (AV200), 500 Мбіт / с (AV500) і 600 Мбіт / с (AV600). Реальна швидкість звичайно ж буде нижче. Приблизно 100, 240, і 280 Мбіт / с. Обов'язково, врахуйте це при виборі PowerLine-адаптерів. Все залежить від того, для яких цілей ви будете використовувати мережу. Якщо це перегляд відео, онлайн ігри і т. Д., То краще вибрати найшвидші адаптери.
- Стандарт HomePlug AV2 - швидкість до 1200 Мбіт / с. У реальних умовах, ця швидкість звичайно ж нижче, приблизно 600 Мбіт / с. Правда, новий стандарт дуже вимогливий до якості проводки, і необхідно заземлення. Для досягнення такої швидкості, вона повинна бути мідною, і дуже хорошої якості.

По суті, стандарт HomePlug є різновидом технології PLC (Power Line Communication), яка використовує лінії електропередач для передачі даних або голосової інформації. Вперше такі системи стали застосовувати більш століття назад, як тільки з'явилися самі лінії електропередач. У той час по дротах між підстанціями передавали телеграфний сигнал, а вже потім, у зв'язку з ростом числа високовольтних ліній електропередач, кількості підстанцій та інших елементів електричної проводки, почали впроваджувати системи високочастотного зв'язку для телефонії та телеметрії. Дані в цьому випадку передавалися шляхом накладення аналогового сигналу з іншого частотою, відмінною від частоти змінного струму. Варто відзначити, що довгий час існувала проблема загасання сигналу, викликаного перешкодами на лінії, так як будь-яка електропроводка характеризується високим рівнем шумів і швидким загасанням високочастотного сигналу. Вирішити проблему загасання сигналу дозволило застосування алгоритмів широкосмугового модуляції сигналу, що, в свою чергу, підвищило вартість такого обладнання, тому тривалий час дані технології не отримували широкого поширення. Зараз технологія PLC використовується для передачі інформаціонно¬техніческіх даних в енергосистемах і на залізницях.

На рис. 2. Показання адаптер TP-LINK TL-PA551.

Рис. 2. Адаптер TP-LINK TL-PA551.

Усередині адаптера встановлені дві невеликі друковані плати, з'єднані між собою декількома контактними групами. На основній платі встановлено чіп Atheros AR7400-AC2C, що відноситься до четвертого покоління і забезпечує підтримку PowerLine-частини пристрою. Чіп на апаратному рівні підтримує модуляції OFDM 4096/1024/256/64/16/8 QAM, QPSK, BPSK і ROBO. В якості допоміжного чіпа використовується мікросхема Atheros AR1500. Оскільки новий стандарт передбачає передачу даних на швидкості 500 Мбіт / с, в цьому адаптері встановлений гігабітний мережевий контролер на базі мікросхеми Atheros AR8021. Оперативна пам'ять представлена мікросхемою Zentel A3S28D40FTP об'ємом 16 Мбайт. Крім цих основних елементів, на платах розташовані допоміжні фільтри та інші компоненти.

Виходячи з специфікації цього стандарту, на фізичному рівні швидкість передачі даних між адаптерами HomePlug AV2 може досягати 500 Мбіт/с. Однак на MAC-рівні швидкість істотно нижче - близько 200-250 Мбіт/с.

На рис. 3. показано приклад побудови мережі з використанням PLC адаптерів.

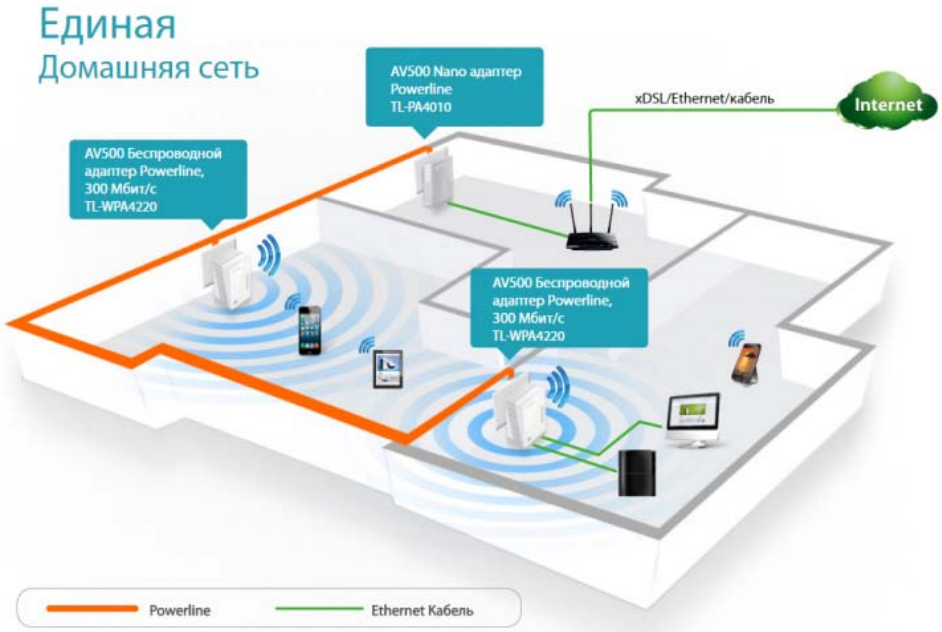


Рис. 3. Приклад побудови мережі з використанням PLC адаптерів [3]

Висновки

Переваги технології PLC

- Простота використання - не потрібно прокладка окремого кабелю.
- Можна використовувати будь-які інші дроти, в тому числі і контактні мережі електротранспорту і метро.
- Оперативність при розгортанні мережі передачі даних - електричні дроти є майже скрізь.
- Не потрібна реєстрація обладнання як радіочастотного, незважаючи на те, що потужність передавача становить 75 мВт, а це створює рівень перешкод, що перевищує допустимі ГОСТом норми по ЕМС.
- У випадку, якщо якимось чином є вплив на якісь частоти, в PLC-обладнанні передбачений

механізм придушення сигналу в заданому діапазоні.

Недоліки технології PLC

- Пропускна здатність мережі по електропроводці ділиться між усіма її учасниками (використовується топологія мережі «загальна шина»).
- Іноді потрібні спеціальні сумісні мережеві фільтри і ДБЖ. Сигнал може істотно послаблюватися, проходячи через багато мережеві розгалужувачі-фільтри.
- На якість, швидкість і надійність зв'язку мають негативний вплив електропобутові прилади (енергозберігаючі лампи, імпульсні блоки живлення, зарядні пристрої, вимикачі освітлення і т. П. І т. Д.). В результаті спостерігається зниження швидкості від 5 до 50%.
- На якість, швидкість і надійність зв'язку чинить негативний вплив виконання / топологія / якість електропроводки, тип / режим / потужність побутових електроприладів і пристроїв, наявність скруток. В результаті спостерігається зниження швидкості передачі даних до повного зникнення сигналу.
- Вразлива для сигналів від радіопередавальних пристроїв короткохвильового (КВ) діапазону, в тому числі і пристроїв служби аматорського радіозв'язку.
- Не може серйозно розглядатися як надійна технологія передачі даних через уразливості до перешкод із загальних електромереж і невідповідності нормам по електромагнітної сумісності як по прийому (вразливість до перешкод з електромережі, сигналам КВ передавачів), так і з передачі сигналів (створення перешкод в електромережу та КВ приймачів).
- Створює перешкоди в короткохвильовому діапазоні [1], що особливо відчутно для служби аматорського радіозв'язку (ЛСР), з огляду на що ЛСР використовує КВ частоти виключно на офіційній та дозвільній основі в державних органах, ЛСР має безумовний пріоритет перед PLC.

Література

1. Комаров С. Беда пришла, откуда не ждали… / С. Комаров // «Broadcasting». – 2005. – № 7. – С. 71.
2. Часто задаваемые вопросы по Powerline-адаптерам Zyxel HomePlug AV
3. TRENDnet TPL-402E2K — локальная сеть через розетку Новости технологий
4. Никифоров А.В. Технология PLC – телекоммуникации по сетям электропитания / А.В. Никифоров // «Сети и системы связи». – 2002. – № 5.

Рецензія/Peer review : 8.3.2017 р. Надрукована/Printed :25.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.

УДК 621.314.5

Д.В. ПРИБЕГА, С.Ю. КОРСУН, С.В. СМУТКО, Т.Д. ПРИБЕГА
Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОГО ПЕРЕМИКАЧА ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

В роботі запропоновано розробку конструкції автоматичного джерела живлення, що дозволяє об'єднати альтернативні енергосистеми та електромережу загального користування в єдину автоматизовану систему. Дана конструкція виконує автоматичне перемикання між декількома джерелами, забезпечуючи надійність та безперебійність електропостачання.

Ключеві слова: джерело живлення,альтернативні енергосистеми, автоматичний перемикач.

D.V. PRYBEHA, S.Y. KORSUN, S.V. SMUTKO, T.D. PRYBEHA
Khmelnytsky National University

DEVELOPMENT OF AUTOMATIC POWER SUPPLY SWITCH

Based on the analysis of alternative power plants that provide multiple diverse sources of electricity, decision was made about the need to develop designs automatically switch power supply. Due to technical Requirements for the construction of automatic switch power supply, developed its block diagram. For this construction developed electrical scheme and the control-a scheme connection the block of relay and power supplies, developed the topology board. To ensure consistent behaviour of all system elements automatic switch power source designed the software of the microcontroller. Reliability and uninterrupted supply of electricity with the help of the proposed device is confirmed by his work in the booth for an alternative energy supply system of the Department of machines and apparatus of Khmelnytskyi National University.

Key words: power source, alternative power system, auto switch.

Вступ

В сучасному світі зростаючі потреби людства в енергії забезпечуються, як правило, за рахунок невідновлюваних джерел енергії. В якості головних енергоносіїв виступають нафта, газ і вугілля. Запаси вказаних видів палива стрімко скорочуються, а їх використання призводить до забруднення довкілля. Виходом з даної ситуації є перехід до альтернативних джерел енергії, які є відновлюваними та екологічно чистими. До найбільш ефективних, на сьогоднішній день, альтернативних джерел відносять: енергію сонця та вітру, гідроенергію, природну теплову енергію, енергію з біомаси.

Використання відновлюваних джерел енергії має істотні особливості, які пов'язані з нерівномірним географічним розподілом, непостійністю в часі, малою питомою концентрацією енергетичних ресурсів [1–3]. Тому виникає необхідність використання кількох різнорідних джерел електричної енергії, систем акумулювання та резервного електроживлення [4]. Враховуючи широку різноманітність обладнання установок відновлюваної енергетики (вітрогенератори, фотоелектричні батареї, акумулятори тощо), можна розробити безліч енергетичних систем різноманітних за комбінацією джерел енергії.

В [5] наведено декілька популярних схем роботи альтернативних енергосистем із споживачем. Це можуть бути наступні варіанти: живлення тільки від альтернативної енергосистеми; підключення альтернативної енергосистеми на роботу паралельно з мережею, коли мережа загального користування виступає в якості додатково-резервного джерела живлення; підключення альтернативної енергосистеми на роботу паралельно з загальною мережею без акумуляторних батарей.

Незалежно від виду енергії всі альтернативні системи містять в своєму складі контролери, інвертори напруги та акумуляторні батареї (АКБ) [6]. Так як альтернативні електростанції передбачають використання кількох різнорідних джерел електричної енергії, систем акумулювання та резервного електроживлення, то до їх складу обов'язково повинні входити пристрої автоматичного перемикання між джерелами живлення. Дані пристрої забезпечують надійність та безперебійність електропостачання.

Аналіз відомих конструкцій пристроїв автоматичного перемикання між джерелами живлення показав [6-8], що готові рішення мають ряд недоліків: системи розраховані на потужні станції, в них відсутні вбудовані системи захисту по перевантаженню, висока вартість.

Тому розробка автоматичного перемикача джерела живлення та супутнього програмного забезпечення є актуальним завданням.

Основна частина

В техніці пристрої автоматичного перемикання між джерелами живлення відомі як пристрої автоматичного включення резерву (АВР). АВР призначені для швидкого автоматичного включення резервного джерела живлення до споживача в тих випадках, коли має місце відмова основного джерела електроживлення [9, 10]. Вони дозволяють об'єднати альтернативні енергосистеми та електромережу загального користування, в єдину автоматизовану систему.

АВР виконує автоматичне миттєве перемикання між декількома джерелами електроживлення при зникненні основного джерела та не дозволяє живити об'єкт одночасно від двох різних джерел живлення. АВР завжди повинен спрацьовувати миттєво, у разі зникнення напруги на шинах споживачів, незалежно від причини. У випадку роботи схеми дугового захисту АВР може бути блокований, щоб зменшити пошкодження від короткого замикання. У деяких випадках потрібна штучна затримка перемикання АВР, наприклад, при запуску потужних двигунів на боці споживача, схема АВР повинна ігнорувати падіння

напруги.

На основі аналізу функціонального призначення відомих конструкцій АВР сформульовано технічні вимоги до конструкції автоматичного перемикача джерела живлення [11]:

1) Забезпечити програмний вибір пріоритету роботи системи від загальної мережі або від АКБ альтернативної мережі.

2) Забезпечити автоматичне миттєве перемикання на АКБ у разі знеструмлення споживачів з боку загальної електромережі. При усуненні несправності з боку електромережі система перемикається в початковий стан через заданий проміжок часу в інтервалі від 10 до 20 с, що встановлюється програмно користувачем.

3) Забезпечити (можна передбачити) автоматичне перемикання на АКБ у випадку зниження напруги загальної електромережі менше 170 В (межа задається програмно) система. При відновлені напруги до рівня 185 В перемикається назад на загальну мережу через заданий проміжок часу в інтервалі від 10 до 20 сек, що встановлюється програмно користувачем.

4) З метою збільшення терміну експлуатації АКБ забезпечити миттєве перемикання на загальну електромережу у випадку різкого зниження рівня заряду акумуляторів. Якщо напруга АКБ зменшилась до рівня менше 20-23 В (задається для 24 В АКБ) або від 10 до 11 В (для 12 В АКБ) система перемикається на загальну мережу миттєво. При зарядженні акумулятора до 24-30 В (12-14 В для 12 В АКБ) система перемикається на АКБ через заданий проміжок часу в інтервалі від 10 до 20 с, що встановлюється програмно користувачем.

5) Передбачити програмні налаштування автоматичного переключення між мережами в залежності від потужності системи альтернативного живлення. Якщо потужність споживачів при роботі від АКБ перевищує межу від 0,5 до 5 кВт (задається програмно) – система автоматично перемикається на мережу. Зворотне переключення відбувається при зменшенні споживання у вказаній межі через заданий проміжок часу в інтервалі від 10 до 20 с, що встановлюється програмно користувачем.

Враховуючи вище сформульовані вимоги, розроблено структурну схему автоматичного перемикача джерела живлення, що наведена на рис. 1.

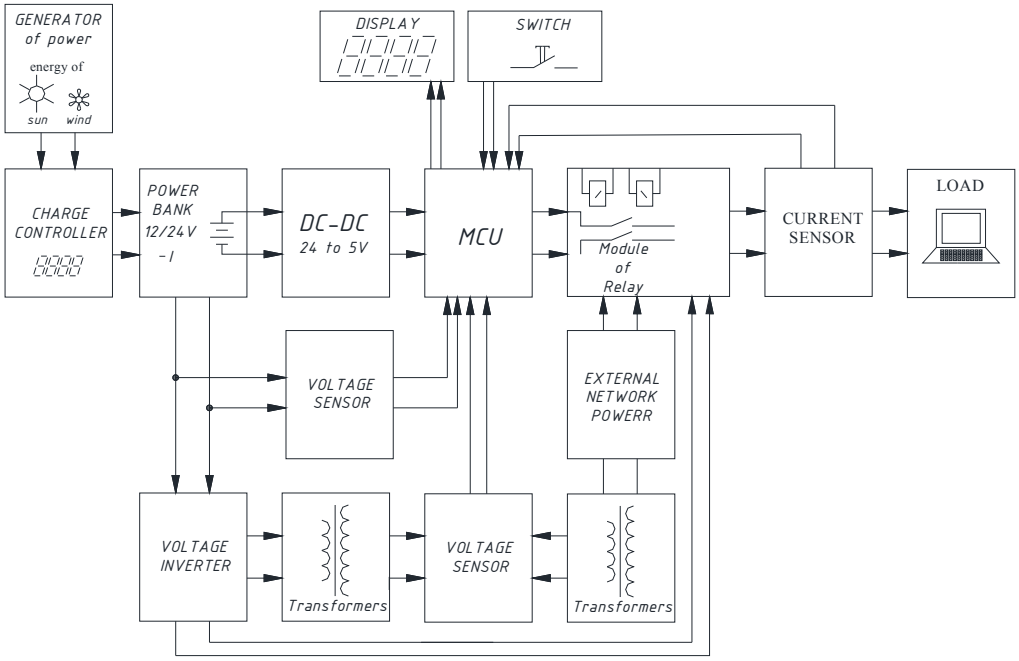


Рис. 1. Структурна схема включення автоматичного перемикача

Розглянемо принцип дії системи автоматичного перемикача джерела живлення, що включає в себе програмовану систему керування на базі мікропроцесора та модуль реле, котрий забезпечує переключення споживача із загальної мережі живлення на альтернативну та навпаки.

Джерело альтернативної енергії включає в себе власне генератор (GENERATOR) (рис.1), контролер заряду АКБ (SHARGE CONTROLLER), АКБ (POWER BANK) та інвертор напруги (VOLTAGE INVERTER), що перетворює постійний струм напругою 12 (24) В генератора або акумуляторів в змінний струм напругою 220В. Потужність альтернативного живлення залежить від потужності генератора, ємності АКБ та відповідної їм потужності інвертора. Трансформований струм подається на модуль реле, до якого також підключена громадська мережа.

Роботу модуля реле контролює та задає мікропроцесор MCU. Налаштування параметрів спрацювання системи автоматичного перемикача джерела живлення відбувається за допомогою тактових кнопок SWITCH, а контролювання параметрів, що задаються користувачем, здійснюється на панелі індикаторів DISPLAY.

Згідно з технічними вимогами необхідно забезпечити контроль параметрів напруги альтернативної та загальної мереж, а також загальної потужності споживання. З метою запобігання виходу з ладу системи керування, а також забезпечення гальванічної розв'язки між аналоговою силовою та цифровою частиною в коло вимірювання напруги встановлено трансформатор напруги, після якого відбувається вимірювання зниженого рівня напруги за допомогою датчика VOLTAGE SENSOR. З метою контролю потужності навантаження в коло споживачів введено датчик струму, сигнал якого поступає на аналого-цифровий перетворювач мікропроцесорного пристрою MCU. Отримавши добуток значень напруги та струму, система контролює потужність споживача. Живлення мікропроцесора відбувається від АКБ альтернативної системи живлення через перетворювач напруги DC-DC.

Наступними етапами проектування автоматичного перемикача джерела живлення були: розробка електричної схеми контролю та керування та схеми підключення до блоку реле та мереж живлення, розробка топології плати.

Схема керування блоком реле передбачає підключення різних комутуючих пристроїв в залежності від потужності споживання. Це може бути електромагнітне реле, твердотільне реле в моноблоці або симісторний ключ з оптичною розв'язкою від мікроконтролера, а також силовий контактор. Фрагмент схеми, що включає в себе електромагнітне реле в якості пристрою комутації мережі та споживача загальною потужністю до 5 кВт наведено на рис. 2.

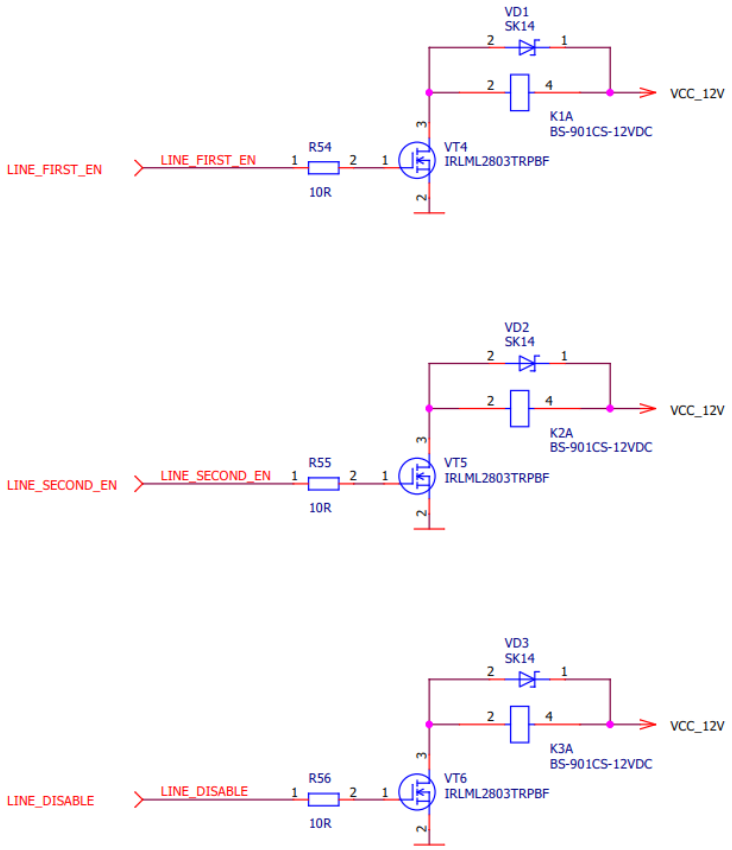


Рис. 2. Схема керування блоком реле системи автоматичного перемикача джерела живлення

При подачі сигналу керування з боку мікроконтролера по лініях LINE_FIRST_EN, LINE_SECOND_EN та LINE_DISABLE відбувається відкриття або закриття транзистора VT4, VT5 та VT6. При відкритті транзистора VT4, в колі живлення електромагнітного реле струм протікає через котушку K1A, що спричиняє комутацію силових контактів реле та включення споживача на одну з мереж. При перемиканні на іншу мережу необхідно на транзистор VT4 подати інверсний сигнал – низький логічний рівень, а на транзистор VT5 високий. Керуючий сигнал на лінії LINE_DISABLE змінюється з високого логічного рівня на низький одночасно із сигналом на лінії LINE_FIRST_EN. Такий тризонний спосіб комутації навантаження забезпечує захист від можливого замикання при «невірному» підключені фази та нейтралі з боку альтернативної та загальної мереж на пристрій автоматичного перемикача джерела живлення.

Для керування та здійснення налаштувань пристроєм на платі передбачено три контактні кнопки та три-розрядний семи-сегментний індикатор (рис.3). П'ять режимних світло-діодів здійснюють індикацію робочого режиму, аварій, та активної вхідної мережі, один зелений світло-діод здійснює індикацію наявності напруги живлення на платі. Призначення кожного з світло-діодів наступне: верхній червоний світло-діод здійснює індикацію активної вхідної напруги від інвертора; нижній червоний світло-діод здійснює індикацію активної вхідної напруги від мережі; верхній жовтий світло-діод здійснює індикацію

активної роботи пристрою; нижній жовтий світло-діод здійснює індикацію режиму налаштування пристрою; зелений, як вже згадувалося, – індикація напруги живлення; останній RG світло-діод здійснює індикацію стану заряду акумулятора, відповідно коли світить зелений – нормальний заряд, жовтий – середній, червоний – низький.

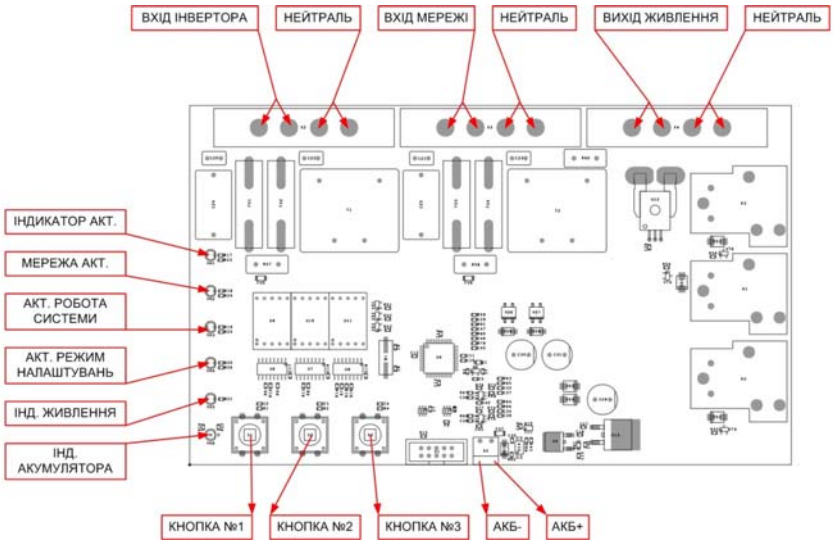


Рис. 3. Розміщення елементів керування на платі автоматичного перемикача джерела живлення

Згідно сформульованих вимог до конструкції автоматичного перемикача джерела живлення необхідно забезпечити автоматичне перемикання між джерелами за певних параметрів. З цією метою було розроблено програмне забезпечення для мікроконтролера яке узгоджує роботу всіх елементів системи автоматичного перемикача джерела живлення.

В результаті виконання комплексу робіт було виготовлено пристрій автоматичного перемикача джерела живлення. Робота пристрою була перевірена у складі стенду альтернативної системи енергопостачання, що функціонує на кафедрі машин та апаратів Хмельницького національного університету (рис. 4).

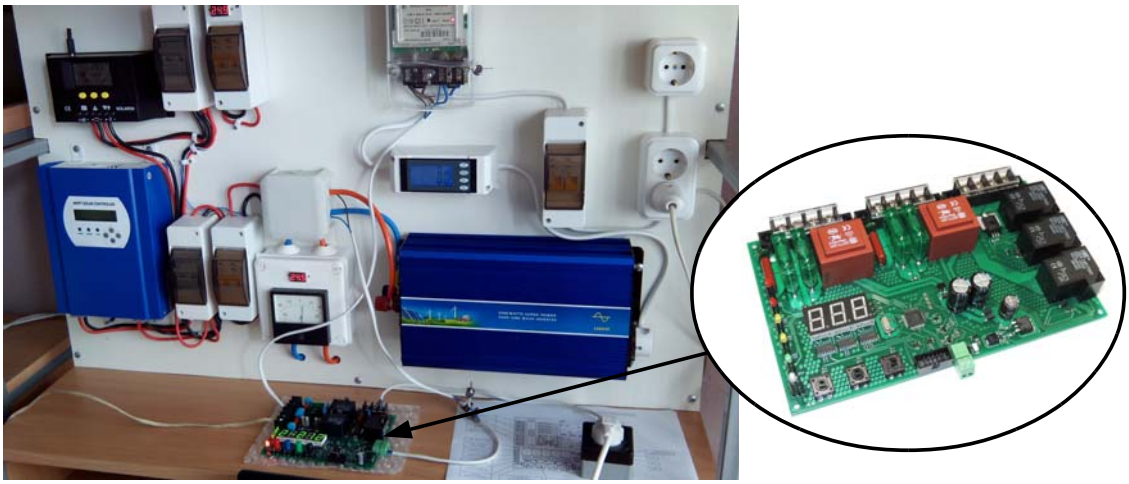


Рис. 4. Стенд альтернативної системи енергопостачання з автоматичним перемикачем джерела живлення

Даний стенд включає: вітровий генератор потужністю 300 Вт, сонячні панелі потужністю 700 Вт, універсальний контролер, інвертор загальною потужністю 1500 Вт та АКБ. За допомогою автоматичного перемикача джерела живлення альтернативна система енергопостачання була підключена до громадської мережі. Тестування запропонованої системи виконувались при різних режимах навантаження.

В результаті експериментального тестування встановлено відповідність режимів роботи запропонованого автоматичного перемикача джерела живлення технічним вимогам та підтверджено його працездатність.

Висновки

В результаті аналізу роботи альтернативних електростанцій, що передбачають використання кількох різнорідних джерел електричної енергії, було прийнято рішення про необхідність розробки конструкції автоматичного перемикача джерела живлення.

Враховуючи технічні вимоги до конструкції автоматичного перемикача джерела живлення,

розроблено його структурну схему. Для даної конструкції розроблено електричну схеми контролю та керування та схему підключення до блоку реле та мереж живлення, виконано розробку топології плати. Для забезпечення узгодженої роботи всіх елементів системи автоматичного перемикача джерела живлення розроблено програмне забезпечення мікроконтролера. Надійність та безперебійність електропостачання за допомогою запропонованого пристрою підтверджена його роботою у складі стенду альтернативної системи енергопостачання кафедри машин та апаратів Хмельницького національного університету.

Література

1. Неисчерпаемая энергия. Кн. 1. Ветрогенераторы / В. С. Кривцов, А. М. Олейников, А. И. Яковлев. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2003. – 400 с.

2. Неисчерпаемая энергия. Кн. 2. Ветроэнергетика / В. С. Кривцов, А. М. Олейников, А. И. Яковлев. –Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2004. – 519 с.

3. Неисчерпаемая энергия. Кн. 3. Альтернативная энергетика / В. С. Кривцов, А. М. Олейников, А. И. Яковлев. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007. — 643 с.

4. Кубкін М. В. Імітаційна модель комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії / М. В. Кубкін, В. П. Солдатенко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». – Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2012. – Випуск 25, част. ІІ. – С. 192–202.

5. Як працює вітрогенератор і комплектуючі до вітряків? [Електронний ресурс] : за матеріалами компанії НВПП «ЕКО-СТ». – Режим доступу : http://ecost.lviv.ua/ua/pr_work.html

6. Бровка Н. Системы контроля литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторных батарей [Електронний ресурс] // Компоненты и технологи. – 2006. – № 10. – Режим доступу : http://kit-e.ru/assets/files/pdf/2006_10_104.pdf.

7. Козюков Д.А. Контроллеры заряда-разряда аккумуляторных батарей солнечных фотоэлектрических установок / Д.А. Козюков, Б.К. Цыганков // Инновационная наука. – 2015. – № 8-2 (8). – С. 41–44.

8. Калашник В.И. Регулятор заряда аккумуляторных батарей от солнечных панелей / В.И. Калашник, К.Р. Казаров, В.А. Черников // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – № 1. – С. 20–22.

9. Автоматичне включення – резерв [Електронний ресурс] // Технічна енциклопедія E-Tech. – Режим доступу : http://e-tech.pp.ua/200050-avtomatichne-vklyuchennya-rezerv.html

10. Автоматичне введення резерву [Електронний ресурс] : за матеріалами компанії «Електрощит Комплект». – Режим доступу : http://www.akinshin.com.ua/products_05.php/

11. Прибега Д.В. Інтелектуальний контролер розподілення мережі / Д.В. Прибега // Технічна творчість : збірник наукових праць. – Хмельницький : ХНУ, 2016. – № 1. – С. 205–208.

Рецензія/Peer review : 7.3.2017 р. Надрукована/Printed :19.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Полікаровських О.І.

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 30.03.2017 р.

Підп. до друку 14.04.2017 р. Ум.друк.арк. 19,63 Обл.-вид.арк. 25,53
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