

ISSN 2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

3.2018

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2018, Issue 3, Volume 261

Хмельницький

**ВІСНИК
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
серія: Технічні науки**

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

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2018, № 3 (247)

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

Включено до науково-метричних 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

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

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., Сорокатиї 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.

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

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 11 від 23.05.2018 р.**

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

т	(038-22) 2-51-08	web:	http://journals.khnu.km.ua/vestnik
e-mail:	visnyk.khnu@gmail.com		http://vestnik.ho.com.ua
			http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm

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

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

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

В.Ю. ЩЕРБАНЬ, Н.І. МУРЗА, А.М. КИРИЧЕНКО, Г.В. МЕЛЬНИК, М.І. ШОЛУДЬКО ВИКОРИСТАННЯ РЕКУРСИВНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАТЯГУ НИТОК В РОБОЧІЙ ЗОНІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	7
Я.Т. КІНИЦЬКИЙ, Л.М. ТРАСКОВЕЦЬКА, П.В. МІНЯЙЛО ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКІСНИХ КІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАЖЛИВИХ МЕХАНІЗМІВ ІЗ ЗУПИНКОЮ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ, ОДЕРЖАНИХ НА БАЗІ ПРЯМОЛІНІЙНО-НАПРЯМНОГО КРИВОШИПНО-ПОВЗУННОГО МЕХАНІЗМУ	12
О.Ю. ОЛІЙНИК, М.М. РУБАНКА ВІДЦЕНТРОВА ФРИКЦІЙНА МУФТА З РЕГУЛЬОВАНИМ КРУТНИМ МОМЕНТОМ ТА ВИБІР ЇЇ ПАРАМЕТРІВ	16
Ю.Г. КАЧАН, Ю.Б. ЛІУШ, В.Ю. МІЩЕНКО АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ВАННИ РУДНОТЕРМІЧНОЇ ПЕЧІ	19
В.Г. ЦІРУК ЗАХИСТ ПРИВОДНИХ ДВИГУНІВ ВІД ПЕРЕВАНТАЖЕНЬ У ВИРОБАХ ЛЕГКОБРОНЬОВАНОЇ ТЕХНІКИ	23
В.М. КОРЕНДІЙ, П.Р. ДМИТЕРКО, Ю.Я. НОВІЦЬКИЙ ОБґРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СТАЦІОНАРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБМОТУВАННЯ ПІДДОНІВ З ВАНТАЖАМИ	27
І.В. ДРАЧ ДИНАМІКА РІДИННОГО АВТОБАЛАНСИРА: ВПЛИВ КОРІОЛІСОВИХ СИЛ	39
Р.Т. КАРПИК, Л.Д. ПІТУЛЕЙ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ЯКІСТЬ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗУБКІВ ШАРОШОК БУРОВИХ ДОЛІТ	49
В.В. ГОРІН, В.В. СЕРЕДА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ І ТЕПЛООБМІНУ ПІД	54
С.О. КУЛЬМАТИЦЬКИЙ, А.С. КУЛЬМАТИЦЬКА ВИКОРИСТАННЯ МАЛИХ ГЕС ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ	64
О.М. ПИЛИПЕНКО, О.В. БАТРАЧЕНКО, І.М. ЛИТОВЧЕНКО ЗМЕНШЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО ОПОРУ КАБІНИ ВАНТАЖНОГО АВТОМОБІЛЮ	69
М. GRYNIEWICZ-JAWORSKA ANALYSIS OF THE CHOICE AND LOCATION OF WIND TURBINES IN POLAND AND EUROPE	74
О.М. СИНЮК, О.А. КРАВЧУК, А.Ю. КРАВЧУК ВИЗНАЧЕННЯ В'ЯЗКОПРУЖНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПОЛІМЕРНОГО МАТЕРІАЛУ	78
О.А. ДОРОФЄЄВ МОДЕЛІ ҐРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ОСНОВ ФУНДАМЕНТІВ АРХІТЕКТУРНИХ СПОРУД ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ ПРИ ЇХ СПОРУДЖЕННІ	91
С.Л. ГОРЯЩЕНКО, В.Р. ЛЮБЧИК, С.В. УСПАЛЕНКО РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОГО КОТЛА ТА ЙОГО ПІДКЛЮЧЕННЯ ДО СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	96

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

А.І. СЛАВІНСЬКА

МОДЕЛЬ КОРЕГУВАННЯ ЕТАПІВ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА
ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ РІЗНИХ ЦІНОВИХ ГРУП 101

О.В. НАХАЙЧУК, Е.А. ЗАХАРОВА, А.А. МІЗРАХ, Л.В. КОНДРАТЬЄВА

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ГРАДАЦІЇ ЛЕКАЛ ДЕТАЛЕЙ НОВИХ МОДЕЛЕЙ ЖІНОЧИХ
КОРСЕТНИХ ВИРОБІВ 108

В.І. ЧУПРИНКА, Г.Ю. ЗЕЛІНСЬКИЙ, Н.В. ЧУПРИНКА

ЗГЛАДЖУВАННЯ ЗОВНІШНІХ КОНТУРІВ ПЛОСКИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА
ДОПОМОГОЮ ДУГ КІЛ 112

Д.А. МАКАТЬОРА, А.Ю. ВЛАСЕНКО, Л.Є. ГАЛАВСЬКА

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА РОЗШИРЕННЯ АСОРТИМЕНТУ
ВЗУТТЯ ШЛЯХОМ МОДУЛЬНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ КАБЛУКА 118

С.О. БІЛІНСЬКИЙ, А.Г. ДАНИЛКОВИЧ

ОСОБЛИВОСТІ ПОЦЕСІВ ДОДУБЛЮВАННЯ-НАПОВНЮВАННЯ В ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ
ЕЛАСТИЧНИХ ШКІР СВІТЛИХ КОЛЬОРІВ. (оглядова) 124

Л.Г. НІКОЛАЙЧУК

СУЧАСНИЙ АСОРТИМЕНТ ТОВАРІВ ІЗ ТЕХНІЧНИХ КОНОПЕЛЬ 130

А.В. МИЩЕНКО, Е.А. ВЕНГЕР, Д.С. КАЧУК, И.О. КУЛИКОВА

ВЛИЯНИЕ ИОННЫХ ГРУПП В ИОНОСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ СВЯЗУЮЩИХ НА
КАЧЕСТВО ПИГМЕНТНОЙ ПЕЧАТИ 135

В.Г. ЄФІМОВА, Т.М. ПИЛИПЕНКО

РОЗРОБКА СКЛАДУ КОСМЕТИЧНОГО КРЕМУ ANTI-AGE СПРЯМУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ
МУЦИНА РАВЛИКА 141

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

О.С. САВЕНКО

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ШКІДЛИВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ЛОКАЛЬНИХ
КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ АЛГЕБРАЇЧНИХ СИСТЕМ 145

О.М. ЯШИНА, О.А. КРАВЧУК

ВИКОРИСТАННЯ МОВИ GO У РОЗРОБЦІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ 155

С.Р. КРАСИЛЬНИКОВ

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА РОЗПОДІЛУ ЗАДАЧ
СЕРЕД WEB - РОЗРОБНИКІВ 158

Ю.Н. ШМЕЛЕВ, С.И. ВЛАДОВ, С.Н. БОЙКО, Я.Р. КЛИМОВА, С.Я. ВИШНЕВСКИЙ

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВЕРТОЛЕТА МИ-8МТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ 165

А.А. МЯСИЩЕВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАТЫ ROBOTDYN MEGA2560 PRO ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПОЛЕТНОГО
КОНТРОЛЛЕРА ГЕКСАКОПТЕРА 171

О.О. ПЕТРОВА, Є.С. ЛИСЕНКО, Ю.В. КАЧАНОВ

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АРХІТЕКТУРНИХ СТИЛІВ
СПОРУД 180

О.А. ПАСІЧНИК

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПУ ДЕКОМПОЗИЦІЇ ПІД ЧАС КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ
ОБ'ЄКТІВ ДІЯЛЬНОСТІ 186

В.М. КРАВЧУК, О.А. ПАСІЧНИК ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОДАЖІВ КОМП'ЮТЕРНИХ ІГОР	191
О.І. POLIKAROVSKYKH, L.O. KOVTUN, L.V. KARPOVA, I.V. GULA MODERN REFERENCE OSCILLATORS FOR FREQUENCY SYNTHESIS	195
М.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ, Р.П. ПАЛАМАРЧУК ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ У ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЯХ ЗВ'ЯЗКУ	202
В.І. МИКИТЕНКО, П.С. КОТЛЯР, Ю.А. ЛЕГА ЗОРЯНИЙ ДАТЧИК ДЛЯ УНІВЕРСИТЕТСЬКОГО НАНОСУПУТНИКА	208
Ю.М. НЕЛЮБІН, О.А. ПАСІЧНИК ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЧИННИКІВ	213
В.Ю. ДЯЧУК, О.А. ПАСІЧНИК СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРОЕКТАМИ	219
О.В. МАЗУРЕЦЬ ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЗНАЧЕННЯ СЕМАНТИЧНИХ ТЕРМІНІВ В ЕЛЕМЕНТАХ НАВЧАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	223
А.В. СНИГУР АНАЛІЗ СТРУКТУРНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЗОРОВОГО КАНАЛУ СПРИЙНЯТТЯ ЛЮДИНИ	231
Ю.Н. ШМЕЛЕВ, С.И. ВЛАДОВ, С.Н. БОЙКО, Я.Р. КЛИМОВА, С.Я. ВИШНЕВСКИЙ ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВЕРТОЛЕТА МИ-8МТВ ПРИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ В РЕАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ	241
Б.П. КНИШ, Я.А. КУЛИК, М.В. БАРАБАН КЛАСИФІКАЦІЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ДОСТАВКИ ТОВАРІВ	246
В.М. ГОДОВАНЮК, І.В. ДОКТОРОВИЧ, В.Г. ЮР'ЄВ, І.М. ФОДЧУК, Є.О. ШОРОК ДОДАТКОВІ ПОХИБКИ, ЩО ВИНИКАЮТЬ В ОСВІТЛЮВАЧАХ	253
В.С. ДМИТРИЄВ ВПЛИВ СПОСОБУ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ GaAs-ПІДКЛАДКИ НА ПИТОМИЙ ПЕРЕХІДНИЙ ОПІР ОМІЧНИХ КОНТАКТІВ НА ОСНОВІ СРІБЛА	258
Г.І. МІХАЛЕВСЬКА, В.Ц. МІХАЛЕВСЬКИЙ ОКРЕМІ ПИТАННЯ КОМУНІКАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ЯК ЧИННИК РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНОГО СУСПІЛЬСТВА	264
Н.В. ГРИПИНСЬКА, Н.І. ПРАВОРСЬКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ	270
С.М. КВАТЕРНІЮК ОЦІНЮВАННЯ ДОСТОВІРНОСТІ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ БІОМАСИ ФІТОПЛАНКТОНУ У ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩАХ	275
V.V. ROMANUK MAXIMIZATION OF COLLECTIVE UTILITY AND MINIMIZATION OF PAYOFF PARITY LOSSES FOR ORDERING AND SCALING EFFICIENT NASH EQUILIBRIA IN TRIMATRIX GAMES WITH ASYMMETRIC PAYOFFS	279
К.Л. ГОРЯЩЕНКО НЕДОЛІКИ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ПОШУКУ ВІДСТАНЕЙ ФАЗОВИМИ МЕТОДАМИ У ВИПАДКУ ДЕКІЛЬКОХ ОБ'ЄКТІВ	282

УДК 685.31

В.Ю. ЩЕРБАНЬ, Н.І. МУРЗА, А.М. КИРИЧЕНКО, Г.В. МЕЛЬНИК, М.І. ШОЛУДЬКО

Київський національний університет технологій та дизайну

ВИКОРИСТАННЯ РЕКУРСИВНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАТЯГУ НИТОК В РОБОЧІЙ ЗОНІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

В роботі наведені результати досліджень з визначення натягу в робочій зоні технологічного обладнання. Під робочою зоною мається на увазі зона в'язання, формування тканини, зона з'єднання матеріалів на швейній машині та інші. Використання рекурсивного підходу дозволяє послідовно визначати натяг ниток після кожного елемента системи подачі нитки по глибині її заправки з урахуванням умов взаємодії. Вихідний натяг нитки після взаємодії з напрямним елементом чи натягувачем для наступного елемента системи подачі нитки буде вхідним. Виконуючи послідовний перехід, можна визначати натяг в робочій зоні з урахуванням умов взаємодії нитки по всіх зонах технологічного обладнання.

Ключові слова: нитка, система подачі нитки, напрямні елементи, натягувачі нитки.

V.YU. SCHERBAN, N.I. MURZA., A.N. KIRICHENKO, G.V. MELNIK, M.I. SHOLUDKO

Kyiv National University of Technologies and Design

USE OF RECURSIVE APPROACH FOR DETERMINATION OF PULL OF FILAMENTS IN WORKING ZONE OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

The improvement of technological equipment must be based on realization of complex theoretical and experimental researches of terms of work of separate knots in the process of implementation of technological process. The system of serve of filaments plays a very important value in this process. It is related to that over imperfection of construction of the system of serve of filament brings to the height of her pull and origin of precipices. The decision of question of improvement of the system of serve of filaments on the technological machines of textile and sewing industry needs to be carried out in two directions: improvement of form of line of priming of filament, analysis of terms of co-operation of filament with structural elements that is included in the system of serve of filament (guiders of filament, devices for the pull of filament) and, on the base of it, optimization of maximum terms on an entrance and exit from these elements of such parameters as corners of scope of directing surfaces, radiuses of curvature of these surfaces. During realization of these researches after the first direction it is necessary line of priming of filament in the system of serve to break up on characteristic areas that plug in itself corresponding structural elements. For most technological machines of textile and sewing industry these areas will have similar character and will differ only by an amount and types of structural elements. Thus, a theme of the article is actual, that matters for the increase of the productivity technological equipment and quality of products that is produced. Objects and methods of research. The systems of serve of filaments on the technological machines of textile and sewing industry provide a necessary pull in a working zone. They include for itself separate knots for moving and accumulation of filament, structural elements that provide the construction of line of priming of filament on a technological equipment and grant of filament of corresponding pull. The technological processes of textile and sewing industry come forward as objects of research, where processing of filaments comes true. Theoretical and experimental researches, that are based on the use of textile materials, mechanics of filament, theory of resiliency, mathematical design, methods of theory of algorithms, analytical geometry, planning of experiment and statistical treatment of results of researches, come forward as basic methods of research. For software development modern languages were used objective - the oriented programming. Practical significance. Improvement of the system of serve of filaments on technological machines of textile and sewing industry allows to minimize their pull in a working zone, to decrease precipices, that has an important value for the improvement of technological processes from position of increase of the productivity of technological equipment and quality of products that is produced.

Keywords: filament, system of serve filaments, directing elements, devices for the pull of filament.

Вступ

Актуальність. Удосконалення технологічного обладнання повинно базуватися на проведенні комплексних теоретично-експериментальних досліджень умов праці окремих вузлів в процесі виконання технологічного процесу [1–4, 5, 9]. Система подачі ниток відіграє в цьому процесі дуже важливе значення. Це пов'язано з тим, що недосконалість конструкції системи подачі нитки призводить до зростання її натягу і, як наслідок, виникнення обривів [1, 3, 6–11]. Вирішення питання удосконалення системи подачі ниток на технологічних машинах текстильної та швейної промисловості потрібно здійснювати у двох напрямках: удосконалення форми лінії заправки нитки, аналіз умов взаємодії нитки з конструктивними елементами, які входять в систему подачі нитки (спрямовувачі нитки, пристрої для натягу нитки) та, на базі цього, оптимізація граничних умов на вході та виході з цих елементів таких параметрів як кути охоплення направляючих поверхонь, радіуси кривизни цих поверхонь [1, 3, 5, 6, 7–11]. При проведенні цих досліджень за першим напрямом необхідно лінію заправки нитки в системі подачі розбивати на характерні ділянки, які включають в себе відповідні конструктивні елементи. Для більшості технологічних машин текстильної та швейної промисловості ці ділянки будуть мати подібний характер і відрізнятимуться тільки кількістю і видами конструктивних елементів [1, 3, 9, 11]. Таким чином, тема статті є актуальною, яка має значення для підвищення продуктивності технологічного обладнання та якості продукції, що випускається.

Об'єкти і методи дослідження. Системи подачі ниток на технологічних машинах текстильної та швейної промисловості забезпечують необхідний натяг в робочій зоні [1–3, 5–10]. Вони включають в себе окремі вузли для переміщення та накопичування нитки, структурні елементи, які забезпечують побудову лінії заправки нитки на технологічному устаткуванні та надання нитці відповідного натягу [2, 3–6]. В якості

об'єктів дослідження виступають технологічні процеси текстильної та швейної промисловості, де здійснюється переробка ниток. Основними методами дослідження виступають теоретичні та експериментальні дослідження, які базуються на використанні текстильного матеріалознавства, механіки нитки, теорії пружності, математичного моделювання, методів теорії алгоритмів, аналітичної геометрії, планування експерименту та статистичної обробки результатів досліджень. При розробці програмного забезпечення використовувалися сучасні мови об'єктне – орієнтованого програмування [1–3, 8–11].

Практичне значення. Удосконалення системи подачі ниток на технологічних машин текстильної та швейної промисловості дозволяє мінімізувати їх натяг в робочій зоні, зменшити обриви, що має важливе значення для удосконалення технологічних процесів з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості продукції, що випускається [1–3, 5–8].

Постановка завдання

На базі рекурсивного підходу розробити моделі для визначення натягу нитки в робочій зоні технологічних машин текстильної та швейної промисловості з урахуванням їх реальних фізико – механічних властивостей, структури та умов переробки на технологічному обладнанні.

Основна частина

Загальна схема системи подачі нитки представлена на рис. 1. Кількість конструктивних елементів в системі подачі нитки технологічної машини $j=1 \dots n1$. Кількість ділянок між конструктивними елементами $i = n1-1$. Конструктивні елементи системи подачі нитки поділяються на елементи зі змінними параметрами v_j (пристрій для натягу нитки, елементи компенсаторів натягу та ін.) та на елементи, в яких параметри залишаються постійними (кільцеві спрямовувачі, циліндричні спрямовувачі нитки та ін.).

Виходячи з рекурсивного підходу для визначення натягу нитки в робочій зоні вихідна система рівнянь буде мати вигляд

$$\begin{aligned} P_1 &= f_1(z_0, P_0), \\ P_2 &= f_2(z_0, z_1, P_0, P_1), \\ &\dots\dots\dots \\ P_{i-1} &= f_{i-1}(z_0, z_1, \dots, z_{i-1}, P_0, P_1, \dots, P_{i-1}), \\ P_i &= f_i(z_0, z_1, \dots, z_{i-1}, z_i, P_0, P_1, \dots, P_{i-1}, P_i), \\ P_{i+1} &= f_{i+1}(z_0, z_1, \dots, z_{i-1}, z_i, z_{i+1}, P_0, P_1, \dots, P_{i-1}, P_i, P_{i+1}), \end{aligned} \quad (1)$$

де $z_0, z_1, \dots, z_{i-1}, z_i, z_{i+1}$ – параметри, для відповідного конструктивного елемента системи подачі нитки.

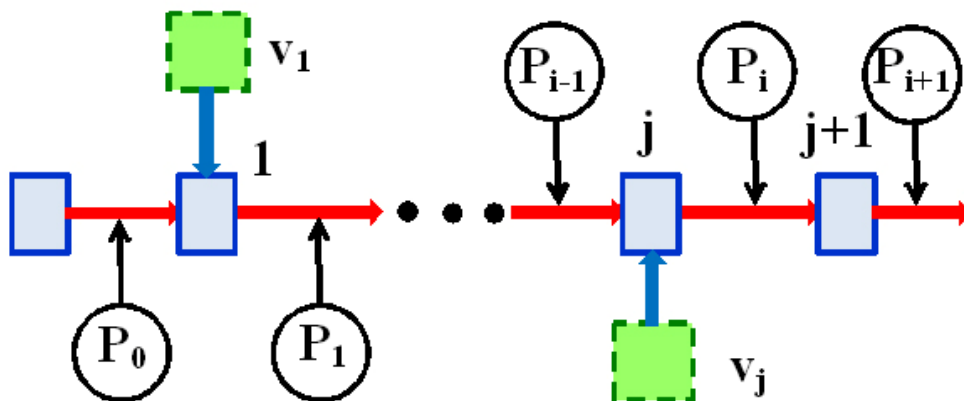


Рис. 1. Структурна схема системи подачі нитки на технологічному обладнанні

Розглянемо декілька конкретних випадків. На рис. 2 представлені структурні схеми швейної машини (рис. 2а), ткацького верстата (рис. 2б) та круглов'язальної машини (рис. 2в).

Для швейної машини (рис. 2а) нитка після проходження кільцевого спрямовувача 1 потрапляє в шайбовий пристрій 2 для натягу нитки зі змінними параметрами v_1 . Після цього огинає отвір притягувача нитки 3, кільцеві спрямовувачі 4, 5 та потрапляє в отвір голки 6.

Для ткацького верстата (рис. 2б) нитки основи огинають поверхню скала 1, циліндричні напрямні 2 пристрою для контролю за обривом нитки, отвір галева ремісної рамки 3. Змінним параметром v_1 тут виступає кут охоплення ниткою основи поверхні отвору галева ремісної рамки.

Для круглов'язальної машини (рис. 2в) нитка від бобіни проходить крізь кільцевий спрямовувач 1, контролер обриву нитки 2, кільцевий спрямовувач 3 та потрапляє до вхідного отвору 4 на поверхні рухомої рейки механізму розкладання нитки. Далі огинаючи циліндричний транспортуючий барабан 5 поступає до

вихідного отвору 6 на поверхні рухомої рейки механізму розкладання нитки. Далі через контролер обриву нитки 7 потрапляє до вхідного отвору 8 водія нитки. Змінними параметрами v_1 та v_2 тут виступає кут охоплення ниткою вхідного та вихідного отвору рухомої рейки механізму розкладання нитки.

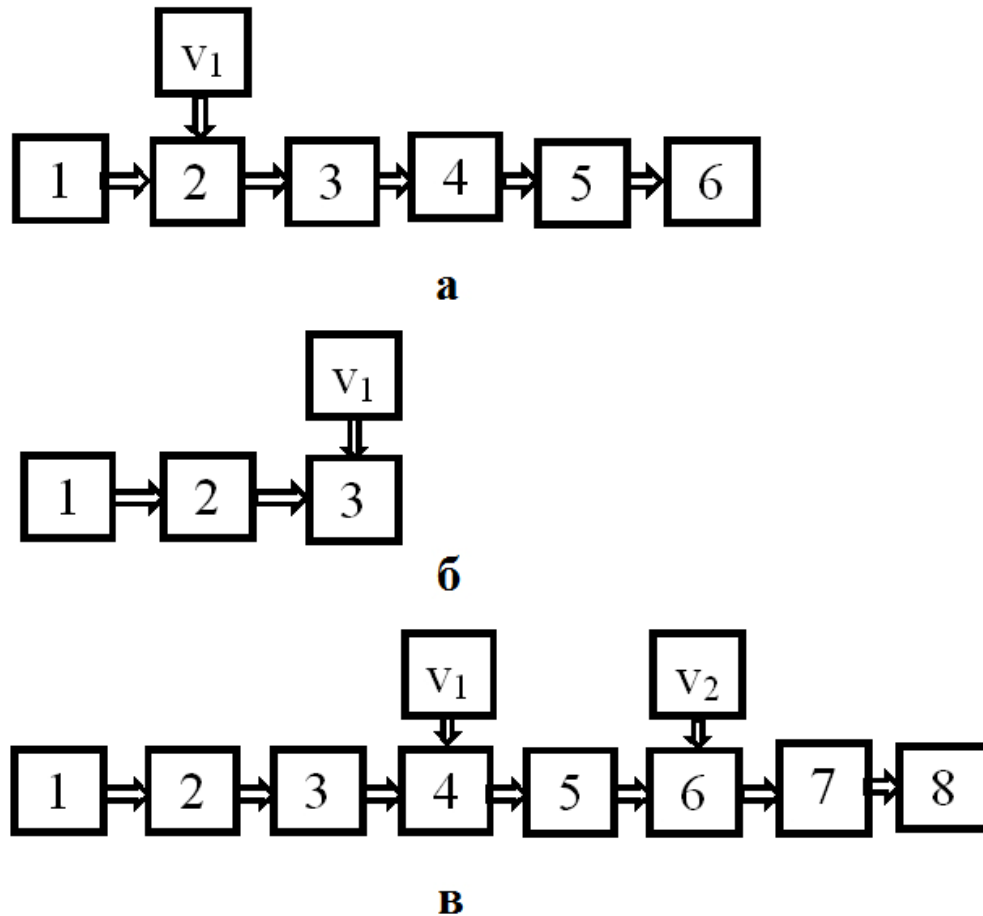


Рис. 2. Структурні схеми швейної машини, ткацького верстата, круглов'язальної машини

Використовуючи рекурсивний підхід можна визначити натяг нитки після кожного структурного елементу [1, 3, 5, 6, 10] в структурних схемах на рис. 2

$$\begin{aligned}
 P_{i+1} = & P_i \left[1 + \frac{(R_j + r)}{[R_j + r(1 - \delta_{0j})]} \left(e^{\frac{\beta_j}{\sin \beta_j} \frac{a}{R_j^b} R_j^b \phi_j} - 1 \right) \right] + \\
 & + \left[\frac{B}{2[R_j + r(1 - \delta_j)]^2} \right] - \left[\frac{B}{2[R_j + r(1 - \delta_{0j})]^2} \right] \times \\
 & \times \left[1 + \frac{(R_j + r)}{[R_j + r(1 - \delta_{0j})]} \left(e^{\frac{\beta_j}{\sin \beta_j} \frac{a}{R_j^b} R_{ms(j)}^b \phi_j} - 1 \right) \right],
 \end{aligned} \quad (2)$$

де P_{i+1} – натяг нитки після j конструктивного елементу; P_i – натяг нитки до j конструктивного елементу; R_j – радіус кривизни поверхні j конструктивного елементу; δ_{0j} – початкова деформація перетину нитки при набіганні на j конструктивний елемент; δ_j – кінцева деформація перетину нитки при збіганні з j конструктивного елементу; β_j – кут радіального охоплення нитки поверхнею j конструктивного елементу; ϕ_j – реальний кут охоплення ниткою j конструктивного елементу. Сумісне рішення системи рівнянь (1) та (2) дозволяє визначити значення натягу нитки в робочій зоні.

Експериментально безпосередньо визначити натяг нитки в робочій зоні дуже проблематично [1–3]. Використання рекурсивного підходу дозволяє виконати це з використанням активного планування експерименту та регресійного аналізу. Визначаючи діапазон зміни натягу нитки до та після конструктивного елементу, його радіус кривини та кут охоплення його ниткою розробляємо план експерименту. Його реалізація дозволяє отримати рівняння регресії для визначення натягу після кожного структурного елементу у вигляді

$$\begin{aligned}
 P_{i+1} = & b_0 + b_1 x_{i1} + b_2 x_{i2} + b_3 x_{i3} + b_{12} x_{i1} x_{i2} + b_{13} x_{i1} x_{i3} + b_{23} x_{i2} x_{i3} + \\
 & + b_{11} x_{i1}^2 + b_{22} x_{i2}^2 + b_{33} x_{i3}^2
 \end{aligned} \quad (3)$$

де x_{i1} – величина натягу до структурного елементу; x_{i2} – радіус напрямної поверхні структурного елементу; x_{i3} – значення кута охоплення ниткою напрямної; $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$ –

коефіцієнти в рівнянні регресії (3).

Для реалізації цього в роботі була використана експериментальна установка, основний вимірювальний блок якої представлений на рис. 3.



Рис. 3. Вимірювальний блок експериментальної установки

На прикладі безчовникового ткацького верстата для тканини шотландка з бавовняної пряжі кардного способу 18.5x2 Текс були отримані наступні рівняння регресії (рис. 26)

$$P_1 = 0.02 + 0.91P_0 + 0.01R_1 + 0.01P_0\phi_1, \quad (4)$$

$$P_2 = 1.28 + 0.99P_1 - 0.32R_2 - 0.001\phi_2 + 0.003P_1\phi_2 + 0.001R_2\phi_2 + 0.02R_2^2, \quad (5)$$

$$P_3 = 2.86 + 1.08P_2 - 4.21R_3 + 0.004\phi_3 + 0.002P_2\phi_3 - 0.05P_2R_3 + 2.02R_3^2 \quad (6)$$

Використовуючи регресійні залежності (4)–(5) були визначені значення натягу ниток основи в робочій зоні перед зоною формування тканини для різних моментів процесу утворювання тканини, які представлені на рис. 4. Значення деформації ниток основи при утворюванні зіву, прибої і відведенні тканини враховувалося величиною вхідного натягу перед механізмом скала (рис. 26).

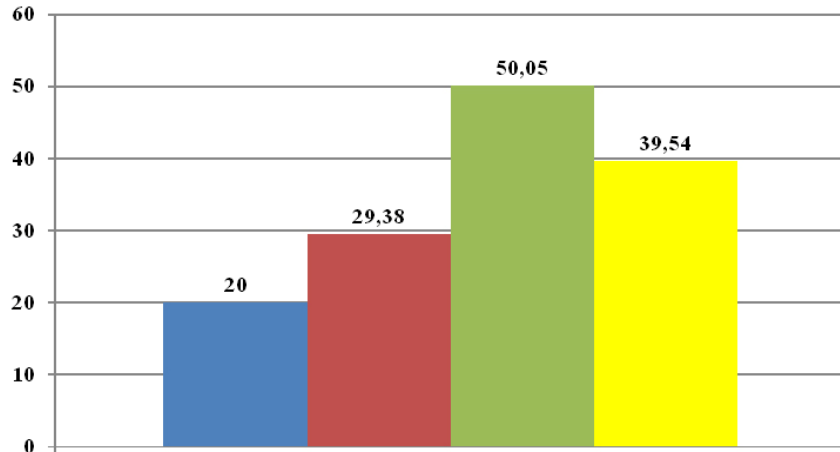


Рис. 4. Гістограми натягу ниток основи перед зоною формування тканини: ■ – заправний натяг ниток основи;

■ – натяг ниток основи в момент заступу; ■ – натяг ниток основи при повному відкритті зіву;

■ – натяг ниток основи в момент прибою

Висновки

На основі рекурсивного підходу розроблені математичні моделі для визначення натягу нитки в робочій зоні з урахуванням їх реальних фізико-механічних властивостей, структури та умов переробки на технологічному обладнанні.

На основі регресійного аналізу даних експериментальних досліджень, з використанням рекурсивного підходу, розроблені моделі для визначення натягу нитки в робочій зоні на технологічних машинах текстильної та швейної промисловості. На основі теоретично-експериментальних досліджень отримані залежності для натягу ниток основи на ткацькому верстаті.

Література

1. Щербань В.Ю. Алгоритмічні, програмні та математичні компоненти САПР в індустрії моди / В.Ю. Щербань, О.З. Колиско, М.І. Шолудько, В.Ю. Калашник. – К. : Освіта України, 2017. – 745 с.
2. Щербань В. Ю. Математичні моделі в САПР. Обрані розділи та приклади застосування / В. Ю. Щербань, С. М. Красницький, В. Г. Резанова. – К. : КНУТД, 2011. – 220 с.
3. Щербань В.Ю. Механіка нити / В.Ю. Щербань, О.Н. Хомяк, Ю.Ю. Щербань. – К. : Бібліотека офіційних видань, 2002. – 196 с.
4. Щербань В.Ю. Визначення приведенного коефіцієнту тертя для кільцевих та трубчатих спрямовувачів нитки трикотажних машин / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 6(255). – С. 23–27.
5. Щербань В.Ю. Визначення натягу нитки при її взаємодії з трубчастими спрямовувачами / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 1 (257). – С. 213–217.
6. Щербань В.Ю. Оптимізація процесу взаємодії нитки з напрямними з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей / В.Ю. Щербань, М.І. Шолудько, О.З. Колиско, В.Ю. Калашник // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 3(225). – С. 30–33.
7. Щербань В.Ю. Дослідження впливу матеріалу нитки і анізотропії тертя на її натяг і форму осі / В.Ю. Щербань, В.Ю. Калашник, О.З. Колиско, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 2(223). – С. 25–29.
8. Колиско М.І. Визначення впливу зминання та жорсткості на згин на натяг нитки при її взаємодії з циліндричною напрямною / М.І. Колиско, В.Ю. Щербань // Вісник ХНУ. – 2013. – № 6. – С. 10–13.
9. Щербань В.Ю. Порівняльний аналіз роботи нитконатягувачів текстильних машин / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 6(243). – С. 18–21.
10. Щербань В.Ю. Ефективність роботи компенсаторів натягу нитки трикотажних машин / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 1(245). – С. 83–86.
11. Scherban V. Interaction yarn guide surface / V. Scherban, M. Sholudko, V. Kalashnik, O. Kolisko // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May 2015. – Volume 4.– Number 3. – pp. 10–15.

References

1. Scherban V.Yu. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry / V.Yu. Scherban, O.Z. Kolisko, M.I. Sholudko, V.Yu. Kalashnik. – K.: Education of Ukraine, 2017. - 745 p.
2. Scherban V. Yu. Mathematical Models in CAD. Selected sections and examples of application / V. Yu. Scherban, S. M. Krasnitsky, V. G. Rezanov. - K.: KNUITD, 2011. - 220 p.
3. Scherban V.Yu. Mechanics of Threads / V.Yu. Scherban, O.N. Khomyak, Yu.Yu. Scherban. - K.: Library of Official Publications, 2002. - 196 p.
4. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Melnik G.V., Sholudko M.I. Determination of friction coefficient factor for rings and tubular trailers of thread of knitted machines. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. Khmelnytskyi. 2017. Volume 255. Issue 6. pp.23-27.
5. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Melnik G.V., Sholudko M.I. Determination of tension at its interaction with tubular guides. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. Khmelnytskyi. 2018. Volume 257. Issue 1. pp.213-217.
6. Scherban V.Yu., Sholudko M.I., Kolisko O.Z., Kalashnik V.Yu. Optimization of the process of interaction of a thread with guides, taking into account the anisotropy of frictional properties. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2015. Volume 225. Issue 3. pp.30-33.
7. Scherban V.Yu., Kalashnik V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I. Investigation of the influence of the thread material and the anisotropy of friction on its tension and the shape of the axis. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2015. Volume 223. Issue 2. pp.25-29.
8. Kolisko M.I., Scherban V.Yu. Determination of the effect of folding and stiffness on the bend on the tension of the thread when it interacts with the cylindrical guide. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2013. Issue 6. pp.10-13.
9. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Sholudko M.I. Comparative analysis of work of natyazhiteley of filament of textile machines. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2016. Volume 243. Issue 6. pp.18-21.
10. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Sholudko M.I. Overall performance of compensators of the filament of knitted cars. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2017. Volume 245. Issue 1. pp.83-86.
11. Scherban V. Interaction yarn guide surface / V. Scherban, M. Sholudko, V. Kalashnik, O. Kolisko // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May 2015. – Volume 4. – Number 3. – pp. 10-15.

Рецензія/Peer review : 12.03.2018 p.

Надрукована/Printed : 10.05.2018 p.
Рецензент: д.т.н., проф. В.Г. Здоренко

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКІСНИХ КІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ ІЗ ЗУПИНКОЮ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ, ОДЕРЖАНИХ НА БАЗІ ПРЯМОЛІНІЙНО-НАПРЯМНОГО КРИВОШИПНО-ПОВЗУННОГО МЕХАНІЗМУ

Стаття присвячена дослідженням якісних кінематичних характеристик важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки, одержаних на базі прямолінійно-напрямного кривошипно-повзунного механізму. Наведена методика та алгоритм розрахунків інваріантів переміщень, швидкостей, прискорень, кінетичної потужності та їх максимальні значення. Ці дані дозволяють більш оптимально вибрати кінематичну схему механізму, порівнювати закони руху вихідної ланки даних механізмів із законами руху інших механізмів.

Ключові слова: прямолінійно-напрямні механізми, кривошипно-повзунний механізм, інваріанти переміщень швидкостей, прискорень та кінетичної потужності.

YA.T. KINYTSKYI

Khmelnytskyi National University

L.M. TRASKOVETSKA, P.V. MINAILO

National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine named after B. Khmelnytskyi

THE INVESTIGATION OF THE QUALITATIVE KINEMATIC CHARACTERISTICS OF THE DWELL LINKAGE MECHANISMS WHICH ARE BASED ON THE STRAIGHT-LINE PATH GENERATING SLIDER-CRANK MECHANISM

The article is dedicated to the investigation of the qualitative kinematic characteristics of dwell linkages that are based on the straight-line path generating slider-crank mechanism. The method and algorithm of the calculation of invariants of displacements, velocities, accelerations, kinetic power, and its maximum values are given. The peculiarity of the method of finding these invariants is the variety of coupler curves of the mentioned mechanisms and their displacement diagrams of the output link. The usage of invariants of velocities, accelerations, kinetic power and their peak constants (maximum values) allow to compare the laws of motion of various mechanisms that have the cyclic movement of the links, in particular the linkage mechanisms. Without such information it is difficult to talk about the properties of various motion laws in a large family of various laws of the movement of the output and to carry out the optimal synthesis of mechanisms. It is due to the fact that the peak constants are impartial criteria for the qualitative evaluation of the laws of cyclic motion [2]. Thus, peak speed constants often limit the productivity of machines due to speed limitations of the technological process, determine the largest values of kinetic energy, and at small dynamic loads - the total power, etc. Constants of the acceleration peak determine the largest forces of inertia and their moments, and the constants of the peaks of the kinetic power - the maximum values of the corresponding components of the calculated dynamic loads for all links of transmission mechanisms.

Keywords: straight-line mechanisms, slider-crank mechanism, invariants of displacement, velocities, accelerations and kinetic power.

В попередніх наших роботах [1, 2] наведені методика аналізу та синтезу важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки, одержаних на базі прямолінійно-напрямного кривошипно-повзунного механізму, а також довідкові карти та таблиці, які дозволяють визначати геометричні параметри цих механізмів за заданою тривалістю зупинки вихідної ланки. Оскільки вказана умова може забезпечуватися різними кінематичними схемами, то для порівняння закону руху вихідної ланки та вибору оптимальних розмірів ланок механізму необхідно визначити інваріанти переміщень a_k , швидкості b_k , прискорення c_k та кінетичної (динамічної) потужності d_k та їх максимальні значення $B = |b_{k \max}|, C = |c_{k \max}|, D = |d_{k \max}|$ за такими формулами [1]:

для періоду віддалення –

$$a_{kv} = \frac{s C_2^2}{S_C}, b_{kv} = \frac{\varphi_v}{S_C} y'_{C2}, c_{kv} = \frac{\varphi_v^2}{S_C^2} y''_{C2}, d_{kv} = b_{kv} c_{kv}, B_v = |b_{kv}|_{\max}, C_v = |c_{kv}|_{\max}, D_v = |d_{kv}|_{\max}; \quad (1)$$

для періоду наближення –

$$a_{kn} = \frac{s C_2^2}{S_C}, b_{kn} = \frac{\varphi_n}{S_C} y'_{C2}, c_{kn} = \frac{\varphi_n^2}{S_C^2} y''_{C2}, d_{kn} = b_{kn} c_{kn}, B_n = |b_{kn}|_{\max}, C_n = |c_{kn}|_{\max}, D_n = |d_{kn}|_{\max},$$

(2)

де s_{C2} – переміщення вихідної ланки в системі координат X_2OY_2 (повзуна 5, рис. 1),

$S_{C2} = |y_{C2 \max} - y_{C2 \min} - E|$ – її максимальний хід, $y_{C2 \max}, y_{C2 \min}$ – відповідно максимальні та мінімальні координати точки C_2 , E – відхилення шатунної кривої на ділянці наближення $K_L K_R$ від прямої

лінії, φ_v – кут віддалення (кут повороту кривошипа 1 за час віддалення повзуна 5); φ_n – відповідно кут наближення; E – відхилення шатунної кривої точки C на ділянці наближення $K_L K_R$ від прямої лінії.

Значення максимального переміщення S_C ланки 5 визначаються на стадії синтезу механізму. Для визначення максимальних значень інваріантів B, C, D можна використати залежності $y_{C2}(\varphi_1)$, приклади яких наведені на рис. 2. Для цього, перш за все, необхідно знайти значення кутів віддалення φ_v та наближення φ_n вихідної ланки 5, які визначаються по різному, залежно від характеру діаграми $y_{C2}(\varphi_1)$. Вихідними параметрами для знаходження кутів φ_v і φ_n можна використати значення кута повороту кривошипа 1, які відповідають початку наближення шатунної кривої точки C до прямої лінії φ_0 , α – тривалості зупинки, $\varphi_{\min}$ – кут, при якому функція $y_{C2}(\varphi_1)$ приймає найменше значення, $\varphi_{\max}$ – найбільше значення. Кути φ_0 і α були визначені в процесі синтезу механізмів, кути $\varphi_{\max}$ і $\varphi_{\min}$ знаходимо при аналізі діаграм $y_{C2}(\varphi_1)$ (див. рис. 2). Тоді, у першому випадку (рис. 2, а), фазові кути φ_v і φ_n визначаємо за формулами:

$$\varphi_n = \varphi_0 - \varphi_{\min}, \quad \varphi_v = 2\pi - \alpha - \varphi_n; \quad (3)$$

у другому випадку (рис. 2, б)

$$\varphi_v = \varphi_{\max} - \varphi_0 - \alpha, \quad \varphi_n = 2\pi - \alpha - \varphi_v; \quad (4)$$

у третьому випадку (рис. 2, в)

$$\varphi_n = \varphi_0 - \varphi_{\max}, \quad \varphi_v = 2\pi - \alpha - \varphi_n. \quad (5)$$

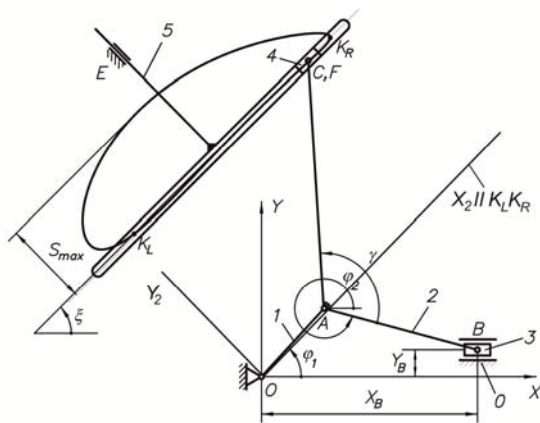


Рис. 1. Шестиланковий важільний прямолінійно-напрямний механізм, який забезпечує зупинку вихідної ланки

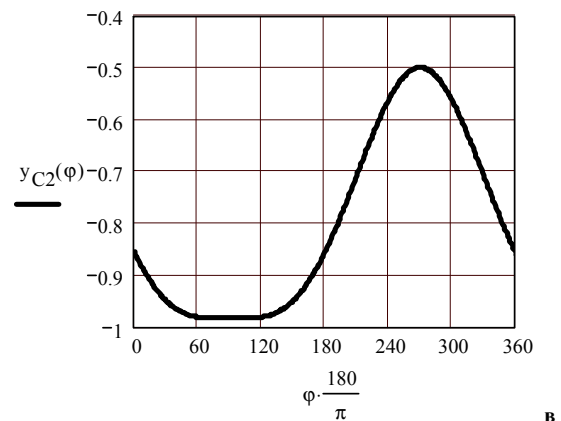
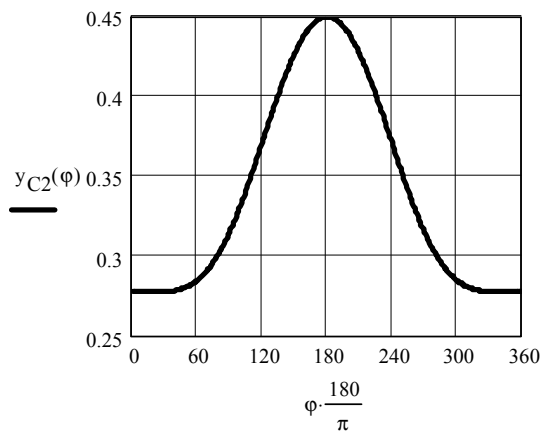
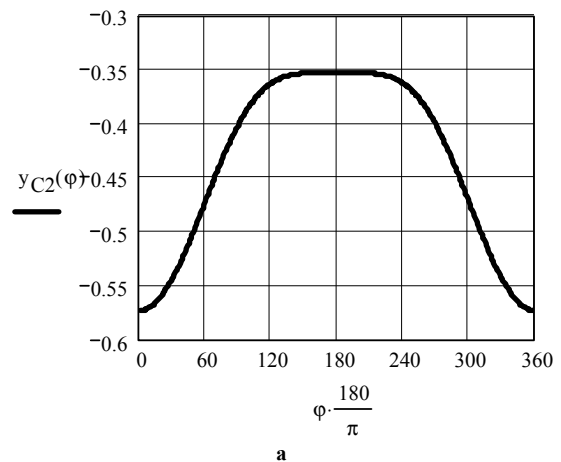


Рис. 2. Приклади діаграм переміщення повзуна 5

На основі вказаного алгоритму було складено комп'ютерну програму в системі Mathcad [6], яка дозволила виконати аналітичне дослідження кінематики цих механізмів та визначити якісні характеристики механізмів (B, C, D), діаграми яких наведені на рис. 3–5, а в таблиці 2 наведено приклад довідкових карт, в яких вказані всі геометричні та кінематичні параметри вказаних механізмів. Для механізмів, в яких $e=0$

відповідні константи B , C , D рівні між собою, тобто $B_v = B_n = B$, $C_v = C_n = C$, $D_v = D_n = D$.

Таблиця 1

Геометричні параметри механізмів, діаграми яких показані на рис. 2

Діаграми	α°	r	k	γ°	φ_0°	ξ°	$\varphi_{\min}^\circ$	$\varphi_{\max}^\circ$
Рис. 2,а	60	0,5	1,8	12,7157	150	167,31	0	201
Рис. 2,б			1,05	30,1836	330,0037	9,935	0	180
Рис. 2,в			1,0	58,87836	75,03589	180	100,6	270

Таблиця 2

Приклад таблиці геометричних та кінематичних параметрів досліджуваних механізмів

($\alpha = 30^\circ$, $r = 0.5$, $e = 0$)

k	γ°	φ_0°	$2E$	ξ°	S	B	C	D
1,05	10,05544	165,0305	1E-05	169,53	0,181696	1,947	15,945	15,667
1,10	13,54722	165,0305	1E-05	164,93	0,2600709	1,947	11,146	10,951
1,11	14,06641	165,0293	2E-05	164,13	0,2734127	1,947	10,596	10,409
1,12	14,55264	165,0305	2E-05	163,37	0,2862468	1,947	10,126	9,949
1,19	17,08231	165,0305	2E-05	158,53	0,3660836	1,947	7,917	7,779
1,21	17,59823	165,0293	2E-05	157,26	0,386622	1,947	7,496	7,365
1,23	18,04666	165,0305	2E-05	156,02	0,4064405	1,947	7,130	7,005
1,26	18,60196	165,0293	2E-05	154,21	0,4350315	1,947	6,660	6,544
1,29	19,03609	165,0305	3E-05	152,45	0,4624844	1,947	6,265	6,155
1,30	19,15657	165,0305	3E-05	151,88	0,4714167	1,947	6,148	6,041
1,34	19,52942	165,0305	3E-05	149,59	0,5062063	1,947	5,725	5,625
1,35	19,59729	165,0305	3E-05	149,03	0,5146927	1,947	5,631	5,533
1,36	19,65552	165,0305	3E-05	148,46	0,5231037	1,947	5,540	5,443
1,37	19,7049	165,0305	3E-05	147,90	0,5314408	1,947	5,453	5,358

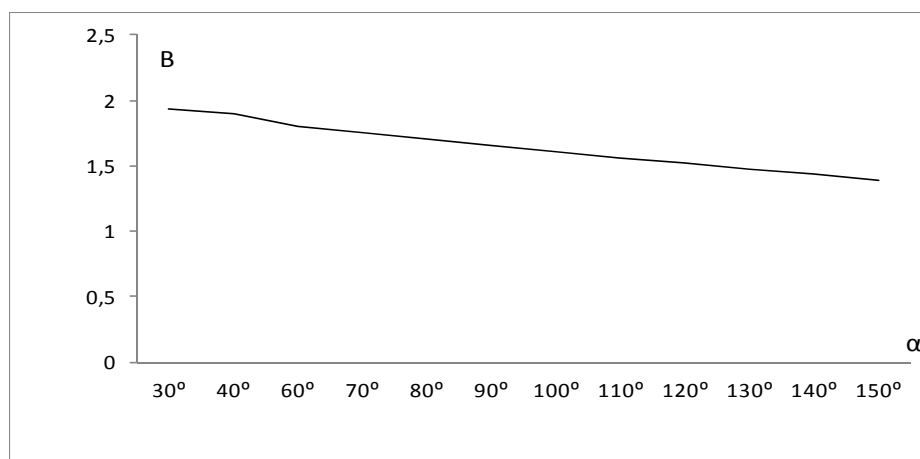


Рис. 3. Приклади діаграм максимальних значень інваріантів швидкості повзуна 5 ($r=0,5$, $e=0$)

Використання інваріантів a_k , b_k , c_k , d_k та їх констант піків $B = |b_k|_{\max}$, $C = |c_k|_{\max}$, $D = |d_k|_{\max}$ дає можливість порівнювати між собою закони руху різних механізмів [3 – 5], які забезпечують циклічний рух ланок, зокрема важільних [5]. Без таких даних важко говорити про властивості тих чи інших законів у величезній сім'ї різноманітних законів руху вихідної ланки та здійснювати оптимальний синтез механізмів. Це пояснюється тим, що константи піків є об'єктивними критеріями якісної оцінки законів циклічного руху [2]. Так, константи піка швидкості B часто обмежують продуктивність машин через обмеження швидкості виконання технологічного процесу, визначають найбільші значення кінетичної енергії T , а при малих динамічних навантаженнях — сумарну потужність N_Σ і т. д. Константи піка прискорень визначають найбільші сили інерції $F_{\text{ин}}$ та їх моменти, а константи піків кінетичної потужності D — максимальні значення відповідних складових розрахункових динамічних навантажень на всі ланки передаточних механізмів.

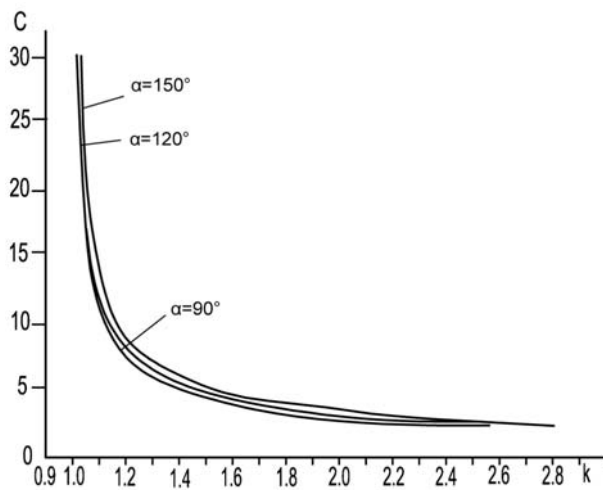


Рис. 4. Приклади діаграм максимальних значень інваріантів прискорень повзуна 5 ($r=0.5$, $e=0$)

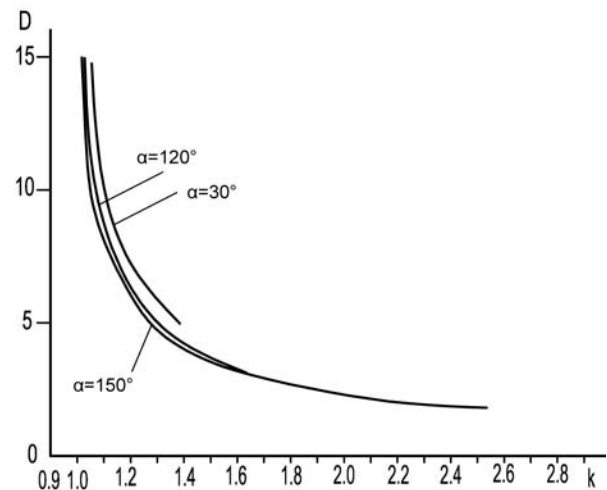


Рис. 5. Приклади діаграм максимальних значень інваріантів кінетичної потужності повзуна 5 ($r=0.5$, $e=0$)

Література

1. Кіницький Я.Т. Визначення параметрів зупинки вихідної ланки механізмів, побудованих на базі центрального прямолінійного кривошипно-повзунного механізму / Я.Т. Кіницький, П.В. Міняйло, М.В. Марченко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 5. – С. 34–39.
2. Кіницький Я.Т. Знаходження точок перегину шатунної кривої кривошипно-повзунного механізму / Я.Т. Кіницький, П.В. Міняйло, М.В. Марченко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 6. – С. 70–74.
3. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / Артоболевский И.И. – М. : Наука, 1988. – 640 с.
4. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин / Я.Т. Кіницький. – К. : Наукова думка, 2002. – 660 с.
5. Кіницький Я.Т. Шарнирные механизмы Чебышева с выстоем выходного звена / Я.Т. Кіницький. – К. : Вища шк., 1990. – 229 с.
6. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин в системі Mathcad / Я.Т. Кіницький, В.О. Харжевський М.В. Марченко. – Хмельницький : ХНУ, 2014. – 295 с.

References

1. Kinytskyi Ya.T., Minaiilo P.V., Marchenko M.V. Vyznachennia parametriv zupynky vykhidnoi lanky mekhanizmv, pobudovanykh na bazi tsentralnoho priamoliniinoho kryvoshypno-povzunnoho mekhanizmu. – Khmelnytskyi: Herald of Khmelnytskyi National University, № 5, 2009. – S. 34–39.
2. Kinytskyi Ya.T., Minaiilo P.V., Marchenko M.V. Znakhodzhennia tochk perehynu shatunnoi kryvoi kryvoshypno-povzunnoho mekhanizmu. – Khmelnytskyi: Herald of Khmelnytskyi National University, № 6, 2013. – S. 70–74.
3. Artobolevskiy I. I. Teoriya mekhanizmv i mashyn. – M.: Nauka, 1988. – 640 s.
4. Kinytskyi Ya.T. Teoriia mekhanizmv i mashyn. – K.: Naukova dumka, 2002. – 660 s.
5. Kinytskyi Ya. T. Sharnirnyie mekhanizmy Chebyisheva s vyistoem vyihodnogo zvena. — K.: Vischa shk., 1990. – 229 s.
6. Kinytskyi Ya.T. Teoriia mekhanizmv i mashyn v systemi Mathcad / Ya.T. Kinytskyi, V.O. Kharzhevskiy, M.V. Marchenko. – Khmelnytskyi : KhNU, 2014. – 295 s.

Рецензія/Peer review : 04.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 20.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ВІДЦЕНТРОВА ФРИКЦІЙНА МУФТА З РЕГУЛЬОВАНИМ КРУТНИМ МОМЕНТОМ ТА ВИБІР ЇЇ ПАРАМЕТРІВ

На основі аналізу особливостей роботи машин легкої промисловості встановлена доцільність використання в їх приводі відцентрової фрикційної муфти з регульованим крутним моментом. Запропоновано нову конструкцію відцентрової фрикційної муфти з регульованим крутним моментом, що містить двоплечі важелі та протизваги, здатні вирішити проблему ефективного зниження динамічних навантажень в приводі, що виникають під час пуску машини, незалежно від режиму її роботи. Запропоновано метод вибору параметрів відцентрової фрикційної муфти з регульованим крутним моментом.

Ключові слова: відцентрова фрикційна муфта, параметри відцентрової фрикційної муфти з регульованим крутним моментом, привід машини, динамічні навантаження приводу.

O.YU. OLIIYNYK

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

M.M. RUBANKA

Kyiv National University of Technologies and Design

CENTRIFUGAL FRICTION CLUTCH WITH REGULATED ROTATIONAL MOMENT AND SELECTION OF ITS PARAMETERS

An important factor in improving reliability and durability of mechanical systems of circular knitting machines and light industry equipment in all there is a reduction of dynamic loads in the drive that arise during the start-up of the drive. This problem can not be solved without improvement the means of reducing dynamic loads including clutches that are part of the drive. On the basis of the analysis of the operating peculiarities of the machines in the light industry, the feasibility of use of the centrifugal friction clutch with regulated rotational moment in their drive is adjusted. A new design of the centrifugal friction clutch with regulated rotational moment, which has two-shoulder levers and counterweights, is proposed; such new design is capable of solving the problem of effective reduction of dynamic loads in the drive that arise during the start-up of the machine regardless of the mode of its operation. The method of selection of the parameters of the centrifugal friction clutch with regulated rotational moment is proposed. The results of the research can be used in development of new types of circular knitting machines.

Key words: centrifugal friction clutch, parameters of the centrifugal friction clutch with regulated rotational moment, drive of the machine, dynamic loads of the drive.

Особливістю роботи механічних систем, в тому числі і машин легкої промисловості, як відомо [1–4], є значні пускові динамічні навантаження, що є однією з основних причин зниження довговічності їх роботи. Тому проблема розробки нових та удосконалення діючих засобів зниження пускових динамічних навантажень в приводах машин є актуальною та своєчасною [5]. Ефективне вирішення цієї проблеми без удосконалення засобів зниження динамічних навантажень приводів машин, зокрема муфт, неможливе.

Об'єктом досліджень обрано відцентрову фрикційну муфту з регульованим крутним моментом та метод вибору її параметрів. Під час розв'язання поставлених задач були використані сучасні методи теорій проектування машин, опору матеріалів та деталей машин.

Постановка завдання. Враховуючи актуальність питання підвищення ефективності роботи машин за рахунок удосконалення пристроїв зниження пускових динамічних навантажень, виконаних у вигляді муфт [5], завданням досліджень є розробка нової конструкції відцентрової фрикційної муфти та методу вибору її раціональних параметрів.

Результати та їх обговорення. Відома відцентрова фрикційна муфта, що містить ведучу півмуфту, ведену півмуфту та колодки, розташовані у ведучій півмуфті [6]. Таке конструктивне виконання відцентрової фрикційної муфти призводить до того, що в разі зміни швидкості обертання муфти – при перемиканні швидкості електродвигуна привода машини, де використовується муфта, та ін. змінюється і її момент, що не дозволяє ефективно вирішити проблему зниження пускових динамічних навантажень механізмів машини.

З метою підвищення ефективності роботи відцентрової фрикційної муфти автори пропонують нову конструкцію муфти [7], додатково обладнану двоплечими важелями та протизвагами, причому в якості одного із пліч кожного важеля використано стержень з різьбою, на якій нагвинчена протизвага.

Обладнання відцентрової фрикційної муфти протизвагами, та використання в якості одного із пліч важеля стержня з різьбою, на якій нагвинчена протизвага, дозволяє, шляхом зниження пускових динамічних навантажень при перемиканні швидкості обертання муфти, підвищити ефективність її використання.

Запропонована відцентрова фрикційна муфта з регульованим крутним моментом (рис. 1) містить ведучу півмуфту 1, жорстко закріплену на ведучому валу 2, ведену півмуфту 3, жорстко закріплену на веденому валу 4, колодки 5, розташовані в ведучій півмуфті 1, протизваги 6 та двоплечі важелі 7, шарнірно з'єднані з ведучою півмуфтою 1. Плече 8 кожного двоплечого важеля 7 шарнірно з'єднане з колодкою 5, а друге плече 9 виконано у вигляді стержня з різьбою 10, на яку нагвинчено протизвагу 6.

Відцентрова фрикційна муфта працює таким чином. При вмиканні машини ведучий вал 2 починає обертатися. При цьому ведуча півмуфта 1, жорстко закріплена на ведучому валу 2, разом з колодками 5 та противагами 6 також починає обертатися. Відцентрові сили, що виникають при цьому призводять до радіальних переміщень колодок 5 і притискують їх до внутрішньої поверхні веденої півмуфти 3. Сили тертя, що виникають при цьому між колодками 5 та веденою півмуфтою 3 приводять її в обертальний рух, а разом з нею і ведений вал 4, на якому вона жорстко закріплена. Відцентрові сили, що діють в цей же час на противаги 6, завдяки двоплечим важелів 7 частково компенсують силу притиску колодок 5 до веденої півмуфти 3. Різниця відцентрових сил колодок 5 та противаг 6 створює необхідний крутний момент відцентрової фрикційної муфти. При перемиканні машини на іншу швидкість змінюється і відцентрова сила колодок 5, що могло б призвести до зміни крутного моменту муфти. Але одночасно з цим змінюється і відцентрова сила противаг 6, яка, тиснувши на плече 9 двоплечого важеля 7, змінює силу тиску колодок 5 на ведену півмуфту 3, стабілізуючи крутний момент муфти, що забезпечує зниження динамічних навантажень та підвищення довговічності роботи муфти і машини в цілому, в приводі якої вона використовується.

При необхідності зміни величини моменту відцентрової фрикційної муфти, зумовлену зміною режиму роботи привода машини, де вона використовується, необхідно, залежно від потреби зменшити або збільшити момент відцентрової фрикційної муфти, поворотом противаг 6 змінити робочу довжину пліч 9 двоплечих важелів 7. Зміна робочої довжини пліч 9 двоплечих важелів 7 призводить до зміни сили противаг, що частково компенсує відцентрову силу колодок 5, змінюючи величину сили притиску їх до веденої півмуфти 3 і, відповідно, момент відцентрової фрикційної муфти. Можливість вибору раціонального моменту відцентрової фрикційної муфти залежно від навантажень привода машини, де вона використовується, забезпечує підвищення надійності та довговічності роботи відцентрової фрикційної муфти.

Враховуючи конструктивні особливості запропонованої відцентрової фрикційної муфти, її крутний момент T_M знаходиться із умови:

$$T_M = \frac{QzDf}{2}, \quad (1)$$

де Q – реакція сили притиску колодки до веденої півмуфти, що знаходиться із умови рівноваги важеля 7 муфти (рис. 1)

$$Ql_1 - F_1l_1 + F_2l_2 = 0; \quad (2)$$

F_1, F_2 – відцентрові сили колодки та противаги відповідно,

$$F_1 = \frac{G_1}{g} r_1 \omega^2; \quad (3)$$

$$F_2 = \frac{G_2}{g} r_2 \omega^2; \quad (4)$$

G_1, G_2 – вага колодки та противаги відповідно; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

r_1, r_2 – радіуси центрів ваги колодок та противаг;

ω – кутова швидкість колодок та противаг;

l_1, l_2 – робочі плечі важелів (рис. 2);

z – кількість колодок;

D – діаметр поверхні тертя колодок;

f – коефіцієнт тертя колодки по веденій півмуфті.

Підставивши (3), (4) в (2), маємо:

$$Q = \frac{F_1l_1 - F_2l_2}{l_1} = F_1 - F_2 \frac{l_2}{l_1} = \frac{G_1}{g} r_1 \omega^2 - \frac{G_2}{g} r_2 \omega^2 \frac{l_2}{l_1} = \left(G_1 r_1 - G_2 r_2 \frac{l_2}{l_1} \right) \frac{\omega^2}{g}. \quad (5)$$

Після підстановки (5) в (1) остаточно знаходимо:

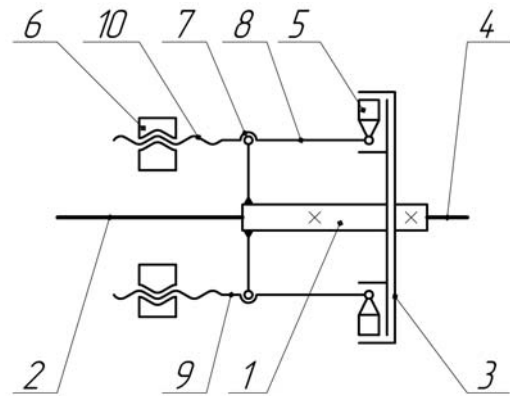


Рис. 1. Кінематична схема відцентрової фрикційної муфти з регульованим крутним моментом

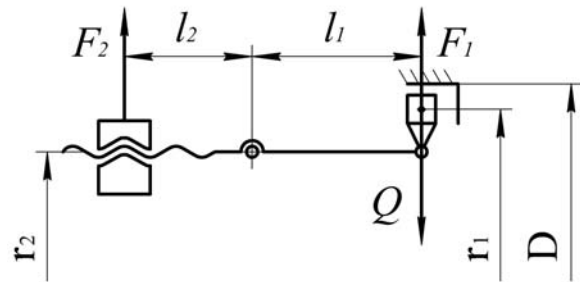


Рис. 2. Розрахункова схема відцентрової фрикційної муфти з регульованим крутним моментом

$$T_M = \frac{\left(G_1 r_1 - G_2 r_2 \frac{l_2}{l_1} \right) \omega^2 z D f}{2q} . \quad (6)$$

Параметрами відцентрової фрикційної муфти в разі використання її в приводі, наприклад, круглов'язальної машини типу КО доцільно прийняти: $z = 4$; $D = 120$ мм; $f = 0,3$ (тертя пари азбестова прокладка колодки – чавун веденої півмуфти); $l_1 = 50$ мм; $l_{2\min} = 10$ мм; $l_{2\max} = 120$ мм; $r_1 = 50$ мм; $r_2 = 40$ мм; $\omega = 99,48$ рад/с [8]; $G_1 = 8,0$ Н; $G_2 = 1,0$ Н.

Розрахунки з використанням залежностей (1)–(6) показують, що в цьому випадку:

$$Q_{\max} = 392 \text{ Н}; \quad Q_{\min} = 304 \text{ Н}; \quad T_{i\max} = 28,22 \text{ Нм}; \quad T_{i\min} = 21,89 \text{ Нм}.$$

Аналіз показує, що використання запропонованої відцентрової фрикційної муфти з регульованим крутним моментом у складі круглов'язальної машини КО-2 здатне знизити пускові динамічні навантаження більш ніж в 2 рази [5], що підтверджує ефективність її використання.

Висновки. Виконані дослідження показують наступне:

- встановлена доцільність використання в приводі машин відцентрової фрикційної муфти з регульованим крутним моментом;
- запропонована відцентрова фрикційна з регульованим крутним моментом, обладнана двоплечими важелями та противагами, здатна підвищити ефективність роботи машин за рахунок зниження динамічних навантажень в приводі;
- результати досліджень можуть бути використані в ході удосконалення діючих та розробки нових типів відцентрових фрикційних муфт.

Література

1. Кожевников С.Н. Динамика нестационарных процессов в машинах / С.Н. Кожевников. – К. : Наукова думка, 1986. – 288 с.
2. Піпа Б. Ф. Динаміка круглов'язальних машин / Б.Ф. Піпа, О.М. Хомяк, Г.І. Павленко. – К. : КНУТД, 2005. – 294 с.
3. Хомяк О.М. Динаміка плосков'язальних машин та автоматів / О.М. Хомяк. – К. : КНУТД, 2008. – 250 с.
4. Чабан В. В. Динаміка основов'язальних машин / В.В. Чабан, Л.А. Бакан, Б.Ф. Піпа. – К. : КНУТД, 2012. – 287 с.
5. Піпа Б.Ф. Приводи в'язальних машин і автоматів з пристроями зниження динамічних навантажень / Б.Ф. Піпа О.В. Чабан, С.В. Музичишин. – К. : КНУТД, 2015. – 280 с.
6. Пат. 109660 Україна, МПК F16B 21/00 (2016.01), F16D 13/00 (2016.01). Відцентрова фрикційна муфта / Б. Ф. Піпа, С. В. Музичишин ; власник Київський національний університет технологій та дизайну. – № u201603001 ; заявл. 23.03.2016 ; опублік. 25.08.2016, Бюл. № 16. – 2 с.
7. Пат. 123894 Україна, МПК F16B 21/00 (2018.01), F16D 13/00 (2018.01). Відцентрова фрикційна муфта / Б. Ф. Піпа, О.Ю. Олійник, М. М. Рубанка ; власник Київський національний університет технологій та дизайну. – № u201709885 ; заявл. 12.10.2017 ; опублік. 12.03.2018, Бюл. № 5. – 3 с.
8. Машины кругловязальные типа КО-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Черновцы, 1992. – 86 с.

References

1. Kozhevnikov S.N. (1986). *Dinamika nestatsionarnykh protsessov v mashinakh* [Dynamics of non-stationary processes in machines]. Kyiv: Naukova dumka.
2. Pipa B.F., Khomiak O.M., & Pavlenko H.I. (2005). *Dynamika kruglov'jazal'nyh mashyn* [Dynamics of the circular knitting machines]. Kyiv: KNUITD.
3. Khomiak O.M. (2008). *Dynamika ploskov'iazal'nykh mashyn ta avtomativ* [Dynamics of the flat knitting machines and automatic machines]. Kyiv: KNUITD.
4. Chaban V.V., Bakan L.A., & Pipa B.F. (2012). *Dynamika osnovov'iazal'nykh mashyn* [Dynamics of the warp knitting machines]. Kyiv: KNUITD.
5. Pipa B.F., Chaban A.V., & Muzychyshyn S.V. (2015). *Pryvody v'jazal'nyh mashyn i avtomativ z prystrojamy znyzhennja dynamichnyh navantazhen'* [Drives of the knitting machines and automatic machines with devices reduce dynamic loads]. Kyiv: KNUITD.
6. Pipa BF, Muzychyshyn SV, inventors (2016). Vidsentrova fryktsiina mufta [Centrifugal friction clutch]. Ukrainian patent, no.109660.
7. Pipa BF, Oliinyk OYu, Rubanka MM, inventors (2018). Vidsentrova fryktsiina mufta [Centrifugal friction clutch]. Ukrainian patent, no.123894.
8. Chernovcy (1992). Mashyny kruglov'jazal'nye tipa KO-2. Tehnicheskoe opisanie i instrukcija po jekspluatacii [The circular knitting machines of type KO-2. Technical description and operating instructions].

Рецензія/Peer review : 11.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 21.05.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Бурмістенков О.П.

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ВАННИ РУДНОТЕРМІЧНОЇ ПЕЧІ

Метою розробки алгоритму є створення комплексного підходу в моделюванні процесу виплавки феросплавів з урахуванням взаємопов'язаних між собою електричних і теплових процесів, що відбуваються у ванні руднотермічної печі. Розглянуто спосіб розбиття робочого простору печі на елементарні об'єми, геометричні центри яких слугують розрахунковими точками. Представлені формули для визначення значень задіяних величин та параметрів.

Ключові слова: руднотермічна піч, елементарний об'єм, температурне поле.

YU.H. KACHAN, YU.B. LIUSH, V.YU. MISHCHENKO

Zaporizhzhia State Engineering Academy

ALGORITHM OF CALCULATION OF THE TEMPERATURE FIELD OF THE BATH OF ORE-THERMAL FURNACE

The purpose of developing the algorithm is to create a comprehensive approach in the simulation of the process of smelting ferroalloys, taking into account the interconnected electrical and thermal processes occurring in the bath of an ore-thermal furnace. The article deals with the way of breaking the working space of the furnace into elemental volumes, whose geometric centers serve as settlement points. Formulas for determining the values of the quantities and parameters involved are presented.

Keywords: ore-thermal furnace, elemental volume, temperature field.

Вступ

Руднотермічні печі (РТП) є печами прямого нагріву і використовуються для отримання феросплавів, карбідів, кремнію, фосфору і інших продуктів. Технологічні процеси, що відбуваються в них, дуже різноманітні. Одні протікають безперервно, а інші потребують повного проплавлення завантажених матеріалів. Теплова енергія, яка витрачається на фазові переходи і відновлювальні процеси, виділяється при проходженні електричного струму через струмопровідне середовище. Перетворення електричної енергії в теплову відбувається в зонах з різними агрегатними станами матеріалів.

Сучасні електродугові і руднотермічні печі є досить складними установками з різноманітним електро механічним обладнанням. Вони складаються з джерела живлення (пічного трансформатора), власне печі (ванни з електродами) і короткої мережі, що з'єднує їх між собою. На відміну від дугових печей, в руднотермічних печах перетворення електричної енергії в теплоту відбувається не тільки в дузі, але і безпосередньо в тих матеріалах, які розплавляються [1].

Аналіз досягнень та постановка проблеми

В печі має місце змішаний режим перетворення електричної енергії в теплову. Розтікання електричного струму в руднотермічній ванні було предметом вивчення протягом багатьох минулих років. Цьому питанню присвячено багато теоретичних і експериментальних досліджень. М. С. Максименко, Ф. Я. Цибакин, Д. А. Діомідовський, Р. А. Сисоян, П. В. Сергієв і Р. Ф. Платонов вивчали розподіл струму в однофазній та трифазній ваннах на електролітичних моделях. В. Т. Жердев більшого значення надає вивченню розподілу струму безпосередньо у діючих печах. При цьому питанню розрахунку температурного поля ванни РТП приділено недостатню увагу.

Тому головним при розробці алгоритмічної моделі руднотермічної печі є створення комплексного підходу щодо моделювання, який би враховував електричні і теплові процеси, що безпосередньо взаємопов'язані між собою, та протікають при виплавці феросплавів й давав можливість отримати температурне поле печі у будь який момент часу.

Викладення основного матеріалу

Як зазначено в [2], для того, щоб розрахувати температурне поле робочого простору ванни РТП необхідно взяти до уваги те, що виділення теплоти відбувається не тільки за рахунок перетворення електричної енергії в теплову, а також завдяки теплоті згорання коксика, що входить до складу шихтових матеріалів. При цьому треба врахувати подальші процеси теплопередачі, які безперервно відбуваються між елементарними об'ємами на які поділена ванна печі. Тому розглянемо ці питання більш детально.

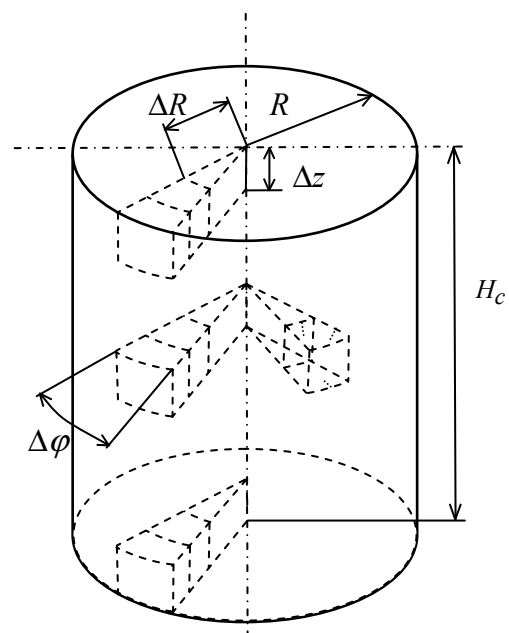


Рис. 1. Розбиття ванни руднотермічної печі на елементарні об'єми

Щоб змодельовати процес розподілення енергії та розрахувати температурне поле ванни руднотермічної печі, перш за все, необхідно розбити її внутрішню область на елементарні об'єми. Для цього існує багато способів, але нами обраний та дещо змінений метод, що базується на системі циліндричних координат. Він був використаний раніше для побудови динамічної моделі температурного поля в електричному теплоакумлюючому перетворювачі [3].

Геометрично ванну руднотермічної печі, де відбувається процес плавки, можна представити у вигляді циліндра з висотою H_c та радіусом R . Розіб'ємо його на ряд елементарних об'ємів у вигляді сектор зі сторонами ΔR , Δz та кутом $\Delta\varphi$, як представлено на рис. 1. Подальші розрахункові точки розташуємо в геометричних центрах кожного елементарного сектора.

За представленим на рис. 2 алгоритмом для визначення температурного поля ванни руднотермічної печі в динаміці необхідно розрахувати температуру в кожному елементарному об'ємі печі в будь-який момент часу.

Вхідними даними для алгоритму є початкові значення таких параметрів шихти як: питомі щільність та електричний опір, коефіцієнт теплопровідності, масова теплоємність, які визначаються залежно від складу шихти та її температури.

Визначення введеної кількості теплоти за рахунок електричного струму в кожний елементарний об'єм проводиться за певний проміжок часу $\Delta\tau$. Знаючи шляхи розтікання струму та його значення у цих напрямках в плавильній ванні з урахуванням елементарних об'ємів, на які поділена піч, можна визначити енергію, яка виділилась в кожному з них.

Наступним кроком є розрахунок значення температури кожного елементарного об'єму, який можна зробити за допомогою формули зміни теплоємності:

$$\Delta J_{R,\varphi,z} = c_{m(R,\varphi,z)} \rho_{(R,\varphi,z)} (t_{R,\varphi,z}^{\tau+\Delta\tau} - t_{R,\varphi,z}^{\tau}) \Delta V, \quad (1)$$

де c_m – масова теплоємність елементарного об'єму, Дж/(кг К);

ρ – питома щільність розрахункового об'єму, кг/м³;

$t_{R,\varphi,z}^{\tau}, t_{R,\varphi,z}^{\tau+\Delta\tau}$ – розрахункова температура в момент часу τ та $\tau+\Delta\tau$ у центрі елементарного об'єму, К;

R, φ, z – координати центру.

На даному етапі розрахунків зміна теплоємності відбулася за рахунок внесення електричної енергії, тобто $\Delta J_{R,\varphi,z} = Q_{w(R,\varphi,z)}$. Тоді для знаходження температури елементарного об'єму формула (1) прийме вигляд:

$$t_{R,\varphi,z}^{\tau+\Delta\tau} = \frac{Q_{w(R,\varphi,z)}}{c_{m(R,\varphi,z)} \rho_{R,\varphi,z} \Delta V_{R,\varphi,z}} + t_{R,\varphi,z}^{\tau} \quad (2)$$

В алгоритмі враховується той факт, що при певній температурі відбудеться процес згорання коксика, який супроводжується додатковим виділенням теплоти. Тому в блоці 3 передбачена перевірка відповідності температури елементарного об'єму температурі його самозаймання. Якщо це «Так», то робиться перехід до блоку 4, якщо ж «Ні» до блоку 6. Процес горіння коксика в різних елементарних об'ємах ванни буде не одночасним. Там, де це відбувається, треба розрахувати кількість додатково введеної теплоти (Блок 4) за наступною формулою:

$$Q_{v(R,\varphi,z)} = m_{R,\varphi,z} \cdot q, \quad (3)$$

де $Q_{v(R,\varphi,z)}$ – теплота, що виділилась при згоранні коксика;

$m_{R,\varphi,z}$ – маса коксика, що знаходиться в елементарному об'ємі;

q – питома теплота згорання коксика.

При зазначеному виділенні додаткової теплоти зміниться теплоємність об'єму і відповідно значення

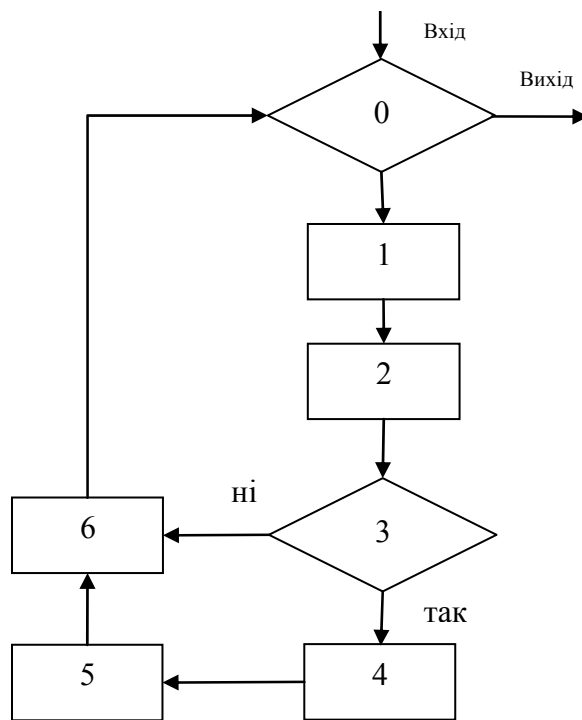


Рис. 2. Блок-схема алгоритму розрахунку температурного поля ванни руднотермічної печі в динаміці:

0 – Перевірка розрахункового часу; 1 – Визначення введеної кількості теплоти за рахунок електричного струму в кожний елементарний об'єм протягом часу $\Delta\tau$; 2 – Розрахунок значення температури кожного елементарного об'єму; 3 – Перевірка відповідності температури елементарного об'єму температурі самозаймання коксика; 4 – Розрахунок введеної кількості теплоти в кожний елементарний об'єм за рахунок згорання коксика; 5 – Перерахунок температури кожного елементарного об'єму; 6 – Розрахунок температури кожного елементарного об'єму з урахуванням процесу теплопередачі між ними

температури, тому необхідно зробити відповідний перерахунок (Блок 5):

$$t_{R,\varphi,z}^{\tau+\Delta\tau} = \frac{Q_{vi}}{c_{m(R,\varphi,z)} \rho_{R,\varphi,z} \Delta V_{R,\varphi,z}} + t_{R,\varphi,z}^{\Delta\tau} \quad (4)$$

Процес теплопередачі між елементарними об'ємами (Блок 6) розраховується за допомогою рівняння теплового балансу для розглянутого елементарного об'єму, який визначається як:

$$\Delta J_{R,\varphi,z} = \sum_I^{VI} Q_i, \quad (5)$$

де $Q_I, Q_{II}, Q_{III}, Q_{IV}, Q_V, Q_{VI}$ – кількість теплоти, що увійшло або вийшло з елементарного об'єму за час $\Delta\tau$ через відповідні індексам грані;

$\Delta J_{R,\varphi,z}$ – зміна тепломісткості останнього. Індеси i – номер грані елементарного об'єму.

Так, згідно з гіпотезою Фур'є [4], кількість теплоти, що входить в елементарний об'єм, який зі сторони i -ї грані можливо представити у вигляді:

$$Q_i = -\lambda_i \text{grad} t_i S_i \Delta\tau, \quad (6)$$

де λ_i – еквівалентний коефіцієнт теплопровідності в i -м напрямленні, Вт/(м·К);

$\text{grad} t_i$ – градієнт температури в i -м напрямленні, (К/м);

S_i – площа i -ї грані, м²;

$\Delta\tau$ – проміжок часу, с.

Розглянемо більш детально величини, що зазначені в рівнянні (6). Так еквівалентний коефіцієнт теплопровідності:

$$\lambda_I = \frac{\lambda_{R,\varphi,z}^{\tau} + \lambda_{R,\varphi,z+\Delta z}^{\tau}}{2}, \quad (7)$$

$$\lambda_{II} = \frac{\lambda_{R,\varphi,z}^{\tau} + \lambda_{R-\Delta R,\varphi,z}^{\tau}}{2}, \quad (8)$$

$$\lambda_{III} = \frac{\lambda_{R,\varphi,z}^{\tau} + \lambda_{R,\varphi+\Delta\varphi,z}^{\tau}}{2}, \quad (9)$$

$$\lambda_{VI} = \frac{\lambda_{R,\varphi,z}^{\tau} + \lambda_{R,\varphi-\Delta\varphi,z}^{\tau}}{2}, \quad (10)$$

$$\lambda_V = \frac{\lambda_{R,\varphi,z}^{\tau} + \lambda_{R+\Delta R,\varphi,z}^{\tau}}{2}, \quad (11)$$

$$\lambda_{VI} = \frac{\lambda_{R,\varphi,z}^{\tau} + \lambda_{R,\varphi,z-\Delta z}^{\tau}}{2}. \quad (12)$$

А градієнти температур в i -му напрямку мають вигляд:

$$\Delta t_I = \frac{t_{R,\varphi,z}^{\tau} - t_{R,\varphi,z+\Delta z}^{\tau}}{\Delta z}, \quad (13)$$

$$\Delta t_{II} = \frac{t_{R,\varphi,z}^{\tau} - t_{R-\Delta R,\varphi,z}^{\tau}}{\Delta R}, \quad (14)$$

$$\Delta t_{III} = \frac{t_{R,\varphi,z}^{\tau} - t_{R,\varphi+\Delta\varphi,z}^{\tau}}{\sin \frac{\Delta\varphi}{2} (2\Delta R_k + \Delta R_{k+1})}, \quad (15)$$

$$\Delta t_{IV} = \frac{t_{R,\varphi,z}^{\tau} - t_{R,\varphi-\Delta\varphi,z}^{\tau}}{\sin \frac{\Delta\varphi}{2} (2\Delta R_k + \Delta R_{k+1})}, \quad (16)$$

$$\Delta t_V = \frac{t_{R,\varphi,z}^{\tau} - t_{R+\Delta R,\varphi,z}^{\tau}}{\Delta R}, \quad (17)$$

$$\Delta t_{VI} = \frac{t_{R,\varphi,z}^{\tau} - t_{R,\varphi,z-\Delta z}^{\tau}}{\Delta z}. \quad (18)$$

При цьому площі поверхонь, що обмежують елементарний об'єм:

1. Верхньої та нижньої поверхні:

$$S_1 = S_{VI} = \frac{\Delta V}{\Delta z} \quad (19)$$

2. Бічних поверхонь:

$$S_{III} = S_{IV} = \Delta R \cdot \Delta z \quad (20)$$

3. Радіусних поверхонь:

$$S_{II} = \frac{2\pi \cdot \sum_{k=1}^k \Delta R_k}{N_\varphi} \Delta z, \quad (21)$$

$$S_{II} = \frac{2\pi \cdot \left(\sum_{k=1}^k \Delta R_k + \Delta R_{k+1} \right)}{N_\varphi} \Delta z. \quad (22)$$

Тож алгоритм розрахунку температурного поля ванни руднотермічної печі за проміжок часу Δt складається з двох циклів. Знаючи значення температури елементарного об'єму після введення в нього електричної енергії (Блок 1 та Блок 2), відбувається перевірка на досягнення температури самозаймання коксиків та, якщо це має місце, враховується додаткове введення теплоти за рахунок процесу його горіння (Блоки 4, 5). Після цього моделюється процес розтікання теплоти за рахунок теплопередачі (Блок 6) та перераховується діюче значення температури.

Вихідною інформацією розрахункового алгоритму, що розглядається є значення температур елементарних об'ємів після електричних, хімічних та теплових процесів, що відбулися в них за проміжок часу Δt . Після чого повертаємося на початок всього алгоритму і розраховуємо значення температур для наступного кроку. Отже, розрахувавши значення температур в усіх заданих точках ванни руднотермічної печі, ми отримаємо розподіл температурного поля в об'ємі на усіх проміжках часу технологічного процесу і отримаємо динамічне зображення зміни температурного поля печі в процесі виплавки феросплавів.

Висновки

Представлений алгоритм для розрахунку температурного поля ванни руднотермічної печі під час виплавки феросплавів враховує важливі аспекти цього складного технологічного процесу. А саме:

- внесення теплоти в об'єм ванни за рахунок електричної енергії завдяки електричному опору шихтових матеріалів;
- виділення додаткової теплоти при згоранні коксика;
- перерозподіл теплоти в об'ємі ванни руднотермічної печі за рахунок теплопередачі.

За допомогою даного алгоритму можливо отримати 3D картину температурного поля ванни печі у будь-який момент часу, тобто одержати його динаміку.

Література

1. Данцис Я. Б. Методы электрических расчетов мощных электропечей / Данцис Я. Б. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. – 232 с.
2. Качан Ю.Г. Щодо комплексного підходу при моделюванні роботи руднотермічної печі / Ю.Г. Качан, В.Ю. Міщенко // *Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії*. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2018. – Вип. 1 (39). – С. 94–96.
3. Качан Ю.Г. Динамическая модель температурного поля в электрическом теплоаккумулирующем преобразователе / Ю.Г. Качан, Н.А. Баташова // *Теория и практика металлургии*. Днепропетровск. – 2007. – № 6 (61). – С. 63–66.
4. Исаченко В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Мукомел. – М. : Энергоиздат, 1981. – 416 с.

References

1. Dantsis YA. B. Metodyi elektricheskikh raschetov moschnykh elektropetchey / Dantsis YA. B. – 2-e izd., pererab. i dop. – L. : Energoizdat, Leningr. otd-nie, 1982. – 232 s.
2. Kachan Yu.H. Shchodo kompleksnoho pidkhodu pry modeliuvanni roboty rudnotermichnoi pechi / Yu.H. Kachan, V.Iu. Mishchenko // *Metallurhiia : naukovі pratsi Zaporizkoі derzhavnoi inzhenernoi akademii*. – Zaporizhzhia : RVV ZDIA, 2018. – Vyp. 1 (39). – S. 94–96.
3. Kachan YU.G. Dinamicheskaya model temperaturnogo polya v elektricheskoy teploakkumuliruyuschem preobrazovatele / YU.G. Kachan, N.A. Batashova // *Teoriya i praktika metallurgii*. Dnepropetrovsk. – 2007. – № 6 (61). – S. 63–66.
4. Isachenko V.P. Teploperedacha / V.P. Isachenko, V.A. Osipova, A.S. Mukomel. – M. : Energoizdat, 1981. – 416 s.

Рецензія/Peer review : 17.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 13.05.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Купіс Ю.В.

ЗАХИСТ ПРИВОДНИХ ДВИГУНІВ ВІД ПЕРЕВАНТАЖЕНЬ У ВИРОБАХ ЛЕГКОБРОНЬОВАНОЇ ТЕХНІКИ

В роботі розглянуто метод захисту приводних двигунів механізму повороту та підйому від перевантажень по струму в виробках легкоброньованої техніки, які можуть виникати в разі перевищення моментів опору обертанню або заклинюванню башти, блоку озброєння. Захист приводних двигунів з допомогою плавких запобіжників, який застосовувався раніше, приводив в крайніх ситуаціях до їх вигорання та відмови в керуванні на моторній гілці відповідного каналу управління до часу заміни плавких запобіжників. Для захисту приводних двигунів механізму повороту та підйому від перевантажень по струму розроблено пристрої, які вираховують допустимі струми та час їх проходження через двигуни. В разі перевищення цих параметрів спрацьовують пристрої захисту по струму та обмежують струм до допустимих значень.

Ключові слова: стабілізатор, приводи наведення.

V.G. TSIRUK

Public joint stock company «Research-and-Production association «Kyiv avtomatics plant», Kyiv

PROTECTING OF DRIVING ENGINES FROM OVERLOADS IN WARES OF EASY RESERVED TECHNIQUE

At development of the first home analogue stabilizer of armament for defence on the current of strengtheners and occasion engines of channels of the horizontal (GH) and vertical (BH) aiming a classic chart was used on that practically all stabilizers were built, except BMP- 3, with the use of safety fuses. The basic value of safety devices was elected coming from the current loading that settled accounts for every chain, that was necessary to be protected. The lacks of such scheme-technical decision was: firstly that at exceeding of the current loading of more possible, for this type of safety device, there was his burning down the capacity of aiming channel was here violated on the agile chain of management; secondly for possibility of replacement of refuse safety devices a separate compartment with a lid, that is closed from a hand and pressurized from influences of climatic factors of environment with the help of rub strip, is structurally done in the corps of strengthener, but as experience shows members of crews often then replacements of safety devices forget hermetically to close lids, that in turn especially during work in tropical moist climatic terms brings services over of strengtheners to reduction of term; thirdly such type of safety devices, that was used in analogue stabilizers it is taken off it is not had from a production and equivalent replacement. Coming from the stated higher, at development of digital stabilizers of armament was made decision about an exception from composition of strengtheners of channels of the horizontal and vertical aiming of external safety fuses and replacement of them on the device of defence on a current. For basis of development of algorithms of triggering of devices of defence there were the fixed requirements on a current, that a stabilizer must provide the wearing-out of suppressors at passing of an increase current through an engine: 200 A in motion of time from 1,0 to 1,5 second; 120 A in motion of time of 3,6 c $\pm$ 20%; 90 A in motion of time of 8,3 c $\pm$ 20%; 75 A in motion of time 15, 0 c $\pm$ 20%; 35 A in motion of time a from 80 to 90,0 second. At triggering will build on a current a stabilizer must provide the limit of current of engine of the overloaded channel on a level no more 20 A.

Keywords: stabilizer, aiming occasions.

Вступ

Під час розробки першого вітчизняного аналогового стабілізатора озброєння для захисту по струму підсилювачів та приводних двигунів каналів горизонтального (ГН) та вертикального (ВН) наведення було використано класичну схему, за якою були побудовані практично всі стабілізатори, крім БМП-3, з використанням плавких запобіжників. Номінальне значення запобіжників обиралось, виходячи зі струмових навантажень, які розраховувались для кожного ланцюга, який треба було захищати.

Недоліками такого схемно-технічного рішення було:

- по-перше, те, що при перевищенні струмових навантажень більш допустимих, для даного типу запобіжника, відбувалось його вигорання при цьому порушувалась працездатність каналу наведення по моторному ланцюгу управління;
- по-друге, для можливості заміни запобіжників, що відмовили, у корпусі підсилювача конструктивно зроблено окремий відсік з кришкою, який закривається від руки та герметизується від впливів кліматичних факторів зовнішнього середовища з допомогою гумової прокладки, але як показує досвід члени екіпажів часто після заміни запобіжників забувають герметично закривати кришки, що, в свою чергу, особливо при роботі в тропічних вологих кліматичних умовах призводить до скорочення строку служби підсилювачів;
- по-третє, такий тип запобіжників, який використовувався в аналогових стабілізаторах, знято з виробництва та рівноцінної заміни не має.

Виходячи з викладеного вище, при розробці цифрових стабілізаторів озброєння було прийнято рішення про виключення із складу підсилювачів каналів горизонтального та вертикального наведення зовнішніх плавких запобіжників та заміни їх на пристрої захисту по струму.

За основу розробки алгоритмів спрацювання пристроїв захисту по струму були покладені вимоги, що стабілізатор повинен забезпечувати спрацювання пристроїв захисту від перевантажень при проходженні підвищеного струму через двигун:

- 200 А в перебіг часу від 1,0с до 1,5с;
- 120 А в перебіг часу 3,6 с $\pm$ 20%;
- 90 А в перебіг часу 8,3 с $\pm$ 20%;

- 75 А в перебіг часу $15,0 \text{ с} \pm 20\%$;
- 35 А в перебіг часу від 80 до 90,0 с.

При спрацюванні пристрою по струму стабілізатор повинен забезпечувати обмеження струму двигуна перевантаженого каналу на рівні не більш 20 А.

Експериментальна частина

Для оцінки струму в обмотках двигунів при автоколиваннях приводів по каналах ВН та ГН було проведено випробування метою, яких було:

1) Визначення спектру частот автоколивань приводів ВН та ГН, які виникають при установленні різних значень налаштувальних коефіцієнтів по параметрам приводів: для каналу ВН: коефіцієнти – «У»(підсилення), «ТГ», «ГТ», «ДТ»; для каналу ГН: коефіцієнти – «У»(підсилення), «ГТ», «ДТ», у межах, які вказані у документації на стабілізатор, і також при заданні різних моментів опору повороту, які імітують реальну башту від номінальних (30 кгм – для приводу ВН, 40 кгм – для приводу ГН) до повного заклинювання башти – ($M_{\text{сmax}}$).

2) Вимірювання струму в обмотках приводних двигунів каналів ГН та ВН.

Вимірювання струму в обмотках приводних двигунів та визначення спектру частот проводилось шляхом осцилографування напруги на шунті «75мВ-50А», встановлених послідовно в ланцюги обмоток двигунів ЕДМ20М.

За циклограмами визначались як частоти (f) автоколивань, так і струм в обмотках двигунів ЕДМ (перерахунком вимірюваних напруг в значення струму по амплітуді).

При випробуваннях фіксувались тільки осцилограми з максимальним рівнем струму ($I_{\text{СПОЖ. max}}$) при кожній конкретній частоті автоколивань, а також значення ($M_{\text{сmax}}$) та коефіцієнтів параметрів приводів, при яких ці автоколивання досягнуті.

Результати випробувань

За результатами випробувань виявлені наступні частоти автоколивань:

по приводу ВН

$f = 1,66 \text{ Гц}$ при $I_{\text{СПОЖ. max}} = 115 \text{ А}$ (амплітудне) при $M_{\text{сmax}} = 30 \text{ кгм}$, $У = 23$, $ГТ = 7$, $ТГ = 7$, $ДТ = 45$;

$f = 2 \text{ Гц}$ при $I_{\text{СПОЖ. max}} = 140 \text{ А}$ (амплітудне) при $M_{\text{сmax}} = 30 \text{ кгм}$, $У = 23$, $ГТ = 7$, $ДТ = 45$;

$f = 5 \text{ Гц}$ при $I_{\text{СПОЖ. max}} = 153 \text{ А}$ (амплітудне) при $M_{\text{сmax}} = \text{max}$, $У = 23$, $ГТ = 0$, $ТГ = 24$, $ДТ = 12$;

$f = 80 \text{ Гц}$ при $I_{\text{СПОЖ. max}} = 119 \text{ А}$ (амплітудне) при $M_{\text{сmax}} = 30 \text{ кгм}$, $У = 23$, $ГТ = 7$, $ТГ = 7$, $ДТ = 60$);

Осцилограми коливань приведені відповідно на рис. 1–4.

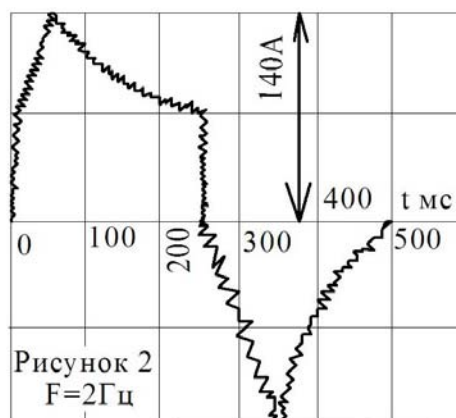
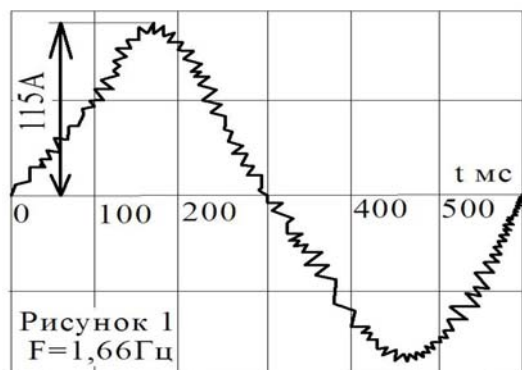
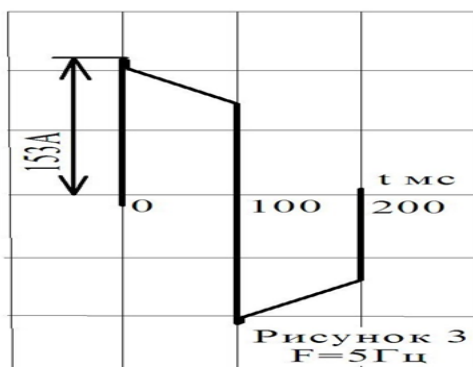
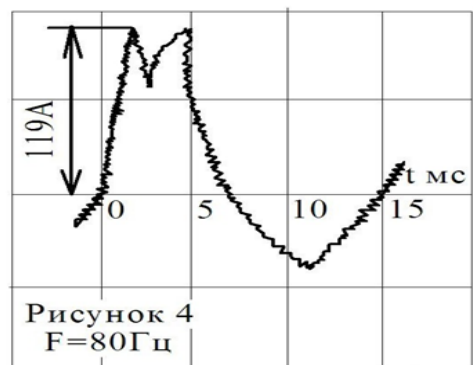


Рис. 1. $f = 1,66 \text{ Гц}$ при $I_{\text{СПОЖ. max}} = 115 \text{ А}$

Рис. 2. $f = 2 \text{ Гц}$ при $I_{\text{СПОЖ. max}} = 140 \text{ А}$

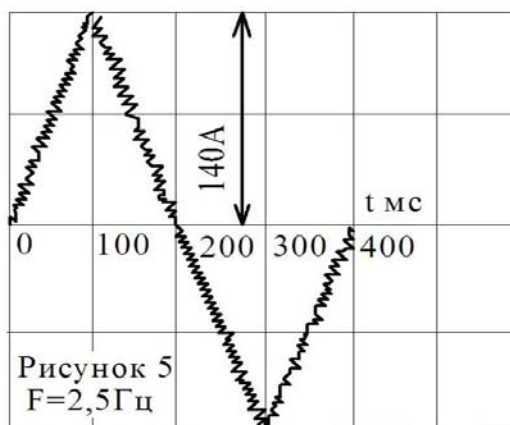
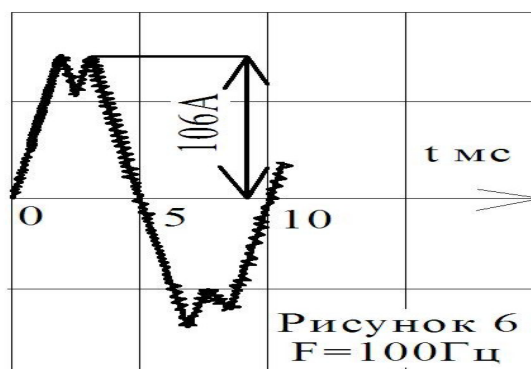
Рис. 3. $f = 5$ Гц при $I_{\text{спож. max}} = 153$ АРис. 4. $f = 80$ Гц при $I_{\text{спож. max}} = 119$ А

по приводу ГН

$f = 2,5$ Гц при $I_{\text{спож. max}} = 140$ А (амплітудне) при $M_{\text{с max}} = 40$ кгм, $Y = 60$, $ГТ = 0$, $ДТ = 12$;

$f = 100$ Гц при $I_{\text{спож. max}} = 106$ А (амплітудне) при $M_{\text{с max}} = \text{max}$, $Y = 60$, $ГТ = 15$, $ДТ = 50$.

Осцилограми коливань наведені відповідно на рис. 5, 6.

Рис. 5. $f = 2,5$ Гц при $I_{\text{спож. max}} = 140$ АРис. 6. $f = 80$ Гц при $I_{\text{спож. max}} = 106$ А

Висновки

1. При регулюванні та налаштуванні стабілізаторів за інструкцією можливі автоколивання, в тому числі з частотами по приводу ВН: $f = 1,66$ Гц, $f = 2$ Гц, $f = 5$ Гц, $f = 80$ Гц при струмах в обмотці двигуна ЕДМ20М по ефективному значенню відповідно 81,5 А, 84,3 А, 99,3 А, 108 А; по приводу ГН: $f = 2,5$ Гц, $f = 100$ Гц при струмах в обмотці двигуна ЕДМ20М по ефективному значенню відповідно 75,5 А, 94,3 А.

2. Залежно від тривалості безперервної роботи як приводу ВН, так і приводу ГН у режимі автоколивань виявлені значення струмів можуть привести до виходу з ладу двигунів ЕДМ20М.

3. Для забезпечення безвідмовної роботи двигунів та стабілізатора в цілому результати випробувань враховані під час розробки алгоритмів спрацювання схеми захисту по струму.

Література

1. Касаткин А.С. Электротехника / Касаткин А.С., Немцов М.В. – М. : Высш. Шк., 1999. – 542 с.
2. Кайман М.М. Расчет и конструирование электрических машин / Кайман М.М. – М., 1984. – 359 с.
3. Петров Г.Н. Электрические машины. Ч.III. Коллекторные машины постоянного и переменного тока / Петров Г.Н. – М., 1968. – 224 с.

References

1. Kasatkin A.S. Elektrotehnika / Kasatkin A.S., Nemtsov M.V. – M. : Vyssh. SHk., 1999. – 542 s.
2. Kayman M.M. Raschet i konstruirovaniye elektricheskikh mashin / Kayman M.M. – M., 1984. – 359 s.
3. Petrov G.N. Elektricheskie mashinyi. CH.III. Kollektornyie mashinyi postoyannogo i peremennogo toka / Petrov G.N. – M., 1968. – 224 s.

Рецензія/Peer review : 23.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 11.05.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.П. Квасніков

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СТАЦІОНАРНОЇ УСТАНОВКИ
ДЛЯ ОБМОТУВАННЯ ПІДДОНІВ З ВАНТАЖАМИ**

У статті проаналізовано технологічний процес напівавтоматичного упакування вантажів на піддонах. Обґрунтовано робочу гіпотезу та запропоновано компоновальне рішення стаціонарної установки для обмотування навантажених піддонів з одним активним приводом. Розглянуто можливості забезпечення заданого технологічного процесу упакування вантажів на піддонах за допомогою запропонованого палетообмотувача. У програмному продукті SolidWorks реалізовано твердотільну модель запропонованої установки та розглянуто особливості її функціонування. Проведено аналіз кінематики приводу удосконаленої установки та обґрунтовано її окремі конструктивно-кінематичні параметри. У програмному продукті SolidWorks проведено імітаційне моделювання руху плівки в процесі обмотування вантажу на піддоні, побудовано відповідну траєкторію руху плівки та встановлено її необхідну довжину.

Ключові слова: піддон, вантаж, плівка, упакування, палетообмотувач, імітаційне моделювання.

V.M. KORENDIY, P.R. DMYTERKO, Y.Y. NOVITSKYI
Lviv Polytechnic National University

**SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF THE STATIONARY
PLANT FOR WRAPPING PALLETS WITH CARGOES**

In the paper, the overview of the modern pallet forming equipment is carried out and the technological process of semi-automatic packaging of the cargoes on pallets is analysed. In particular, seven steps of this process are considered in detail: 1) the installation of pallets with cargo on a pallet-wrapper; 2) lowering the clamping device; 3) fastening the end of the stretch film; 4) wrapping pallet; 5) lifting of the clamping device; 6) cutting of stretch film; 7) removing pallets with a load from a pallet-wrapper. The working hypothesis is substantiated and the design solution of the stationary machine for pallets wrapping with one active drive consisting of one conical gear and two chain transmissions and without the complicated control system is proposed. The possibilities of ensuring the prescribed technological process of cargoes packaging with a help of the proposed wrapping plant are considered. The solid-state model of the proposed machine for pallets wrapping is implemented in SolidWorks software and its operational features are considered. The analysis of kinematics of the drive of the improved plant is carried out and some of its structural and kinematic parameters are substantiated. The trajectory of the carriage with a roll of packaging material was constructed, the roll's speed dependencies were determined, and a formula was derived for analysing the cost of the film during the process of wrapping loads on pallets of various sizes. The simulation modelling of the film motion during the process of cargo wrapping is carried out, the corresponding film motion path is constructed and its necessary length is calculated. According to the results of the virtual experiment, there were concluded the satisfactory convergence of the results of theoretical studies and experimental investigations (the error is within 10%).

Keywords: pallet, cargo, film, packaging, pallets wrapping machine, simulation modelling.

Постановка проблеми. Сучасний стан пакувального виробництва вражає різноманітністю своєї продукції [1–17]. Яскрава та якісна упаковка товару є одним із вирішальних чинником його успішного вибору [1; 2]. Це вимагає використання сучасного та досконалого обладнання.

Особливе місце серед пакувального обладнання займають палетайзери, палетоформувальні та палетообмотувальні машини. Ручне палетування є дуже трудомістким процесом, тому на високотехнологічних виробництвах застосовують роботизовані (автоматизовані) палетайзери [10; 14; 15].

Аналізуючи сучасний ринок палетоформуючого обладнання, можемо зробити висновок про постійне здорожчання та ускладнення конструкцій палетувальних машин за рахунок використання складних систем автоматичного керування та декількох активних приводів, які відповідають за кожну з технологічних функцій машини [1; 3; 7; 16; 17]. При цьому, більшість вітчизняних підприємств, бажаючи зекономити, змушені використовувати напівавтоматичне та ручне палетоформувальне обладнання [1; 2; 4].

Тому актуальними залишаються завдання розроблення і дослідження спрощених компоновальних схем палетоформувальних машин, які могли б використовувати лише один активний привід та без застосування додаткових електронних систем керування автоматично виконувати свої функції.

Аналіз досліджень та публікацій. Масштабний розвиток пакувального обладнання розпочався приблизно у середині минулого століття [1; 2; 12; 13]. Із удосконаленням засобів автоматизації та активним впровадженням нових інформаційних технологій з кожним роком змінювалися підходи до упакування і складування вантажів на піддонах [3; 14; 15]. Сучасні тенденції розвитку машинобудівної галузі в цілому та пакувальної індустрії зокрема передбачають активне впровадження електронних систем керування та повну автоматизацію роботи відповідного устаткування із мінімізацією ручної праці [16; 17]. Це дозволяє суттєво підвищити продуктивність виробництва і знизити собівартість продукції, однак вимагає наявності висококваліфікованого обслуговуючого персоналу. Для конкретних виробничих умов необхідно постійно збалансовувати матеріальні витрати на закупівлю й обслуговування відповідного обладнання, утримання персоналу тощо із реальними прибутками, отриманими в результаті цієї виробничої діяльності. Тому в багатьох випадках використовується напівавтоматичне технологічне обладнання (зокрема, і палетувальні установки), яке з одного боку має спрощене конструктивне виконання та дешевші системи керування, а з іншого – дозволяє знизити вимоги до професійного рівня обслуговуючого персоналу.

Виділення невирішених питань. Одним із основних недостатньо вирішених завдань, які стоять перед дослідниками і розробниками палетувального обладнання, є створення конструктивно і функціонально простої установки для обмотування палет, що володіє більшістю функцій сучасного обладнання, побудованого на основі складних систем автоматичного керування з декількома активними приводами. Запропоноване у даній роботі конструктивне виконання стаціонарного палетообмотувача дозволить суттєво знизити його вартість та спростити процеси обслуговування і ремонту зі збереженням переваг напівавтоматичної роботи.

Формулювання мети та завдань роботи. Мета роботи полягає в обґрунтуванні спрощеної (і здешевленої) конструкції стаціонарної палетоформуєчої машини зі збереженням функцій автоматизованого обмотування палет без застосування додаткових електронних систем керування та з використанням одного активного приводу.

Для досягнення поставленої мети сформульовано наступні задачі: 1) аналіз конструктивних і функціональних особливостей палетоформувального обладнання. Огляд технологічного процесу упакування піддонів з вантажами; 2) формування робочої гіпотези та розроблення теоретико-розрахункової схеми стаціонарного палетайзера з одним активним приводом та зі збереженням функцій напівавтоматичного обмотування палет; 3) кінематичний аналіз запропонованого палетообмотувача та обґрунтування законів руху окремих елементів (поворотного стола, рулона зі стретч-плівкою тощо); 4) обґрунтування геометричних та кінематичних параметрів палетайзера з метою забезпечення заданої технології обмотування палет; 5) проведення моделювання взаємного руху вантажу на піддоні і рулона зі стретч-плівкою у програмному продукті MathCAD та імітаційного (віртуального) експерименту в середовищі SolidWorks; 6) аналіз узгодженості результатів аналітичних та експериментальних досліджень. Узагальнення отриманих результатів.

Огляд палетувального обладнання та технологічного процесу напівавтоматичного упакування піддонів з вантажами

Процес формування та обмотування палет стретч-плівкою є одним із основних етапів автоматизації процесів групового пакування. Він дозволяє забезпечити стійкість (стабільність) і безпеку штабелювання товару при транспортуванні і зберіганні, захистити товар від зовнішніх пошкоджень, забезпечити герметичність і запобігти потраплянню вологи тощо [4–6].

За ступенем автоматизації палетообмотувальні машини поділяються на ручні, напівавтоматичні та автоматичні [10]. Як правило, основними вузлами напівавтоматичних машин (рис. 1, а) є: 1) поворотний стіл; 2) колона для переміщення у вертикальному напрямі каретки з рулоном стретч-плівки із можливістю установки пневматичного притиску; 3) каретка, що забезпечує попереднє розтягування стретч-плівки. Автоматичні машини (рис. 1, б) зазвичай додатково комплектуються пристроями для закріплення і обрізання плівки після закінчення обмотки; зважувальними пристроями; поворотними столами з Е-подібним вирізом для вил візків та іншим додатковим устаткуванням. Продуктивність напівавтоматичних машин становить 15–20 палет за годину без урахування часу на завантаження і розвантаження палети. Автомати для пакування палет мають вищу продуктивність – до 40–60, а деякі високошвидкісні моделі – до 100 палет за годину [7–10].



Рис. 1. Напівавтоматична (а) та автоматична (б) палетообмотувальні машини

Основним пакувальним матеріалом, який застосовується в процесі палетування є стретч-плівка. Використання стретч-плівки дозволяє захистити товар від бруду і пилу, в кілька разів збільшує швидкість завантаження і розвантаження продукції, суттєво знижує втрати при транспортуванні товару [5; 6]. Стретч-плівка для ручного пакування поставляється, як правило, в рулонах шириною від 200 до 500 мм, з довжиною

намотування 270–300 м. Зазвичай така плівка має товщину 17 мкм. Довжина намотування стретч-плівки для машинного пакування сягає 1500 м, а сама плівка має товщину 23 мкм [5; 6].

Загальна схема, що ілюструє технологічний процес напівавтоматичного упакування піддона з вантажем, представлена на рис 2, а [4–10]. Цей процес можна умовно розділити на сім етапів. На першому етапі відбувається установка палети з вантажем на палетообмотувач (рис. 2, б). Оператор встановлює піддон за допомогою навантажувача або талі. Для зручності роботи оператора приймальний стіл палетообмотувача заглиблюють під рівень підлоги, або комплектують спеціальним заїзним пандусом. На другому етапі технологічного процесу (рис. 2, в) відбувається опускання притиску для фіксування піддону. Далі проводиться кріплення кінця стретч плівки до піддону (рис. 2, г). Цей процес оператор виконує вручну. Далі безпосередньо здійснюється упакування вантажу (рис. 2, д).

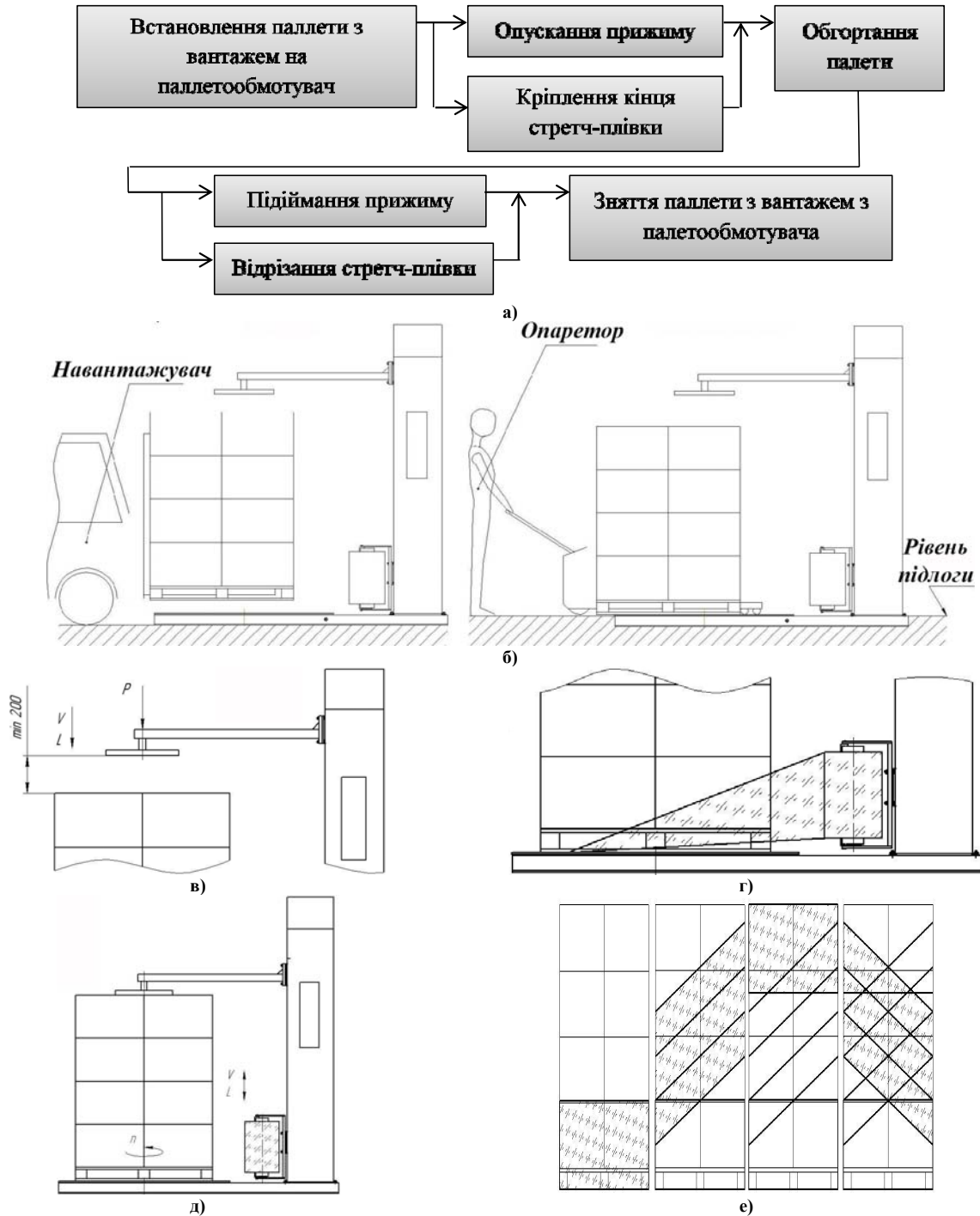


Рис. 2. Загальна схема та етапи технологічного процесу упакування піддонів з вантажами

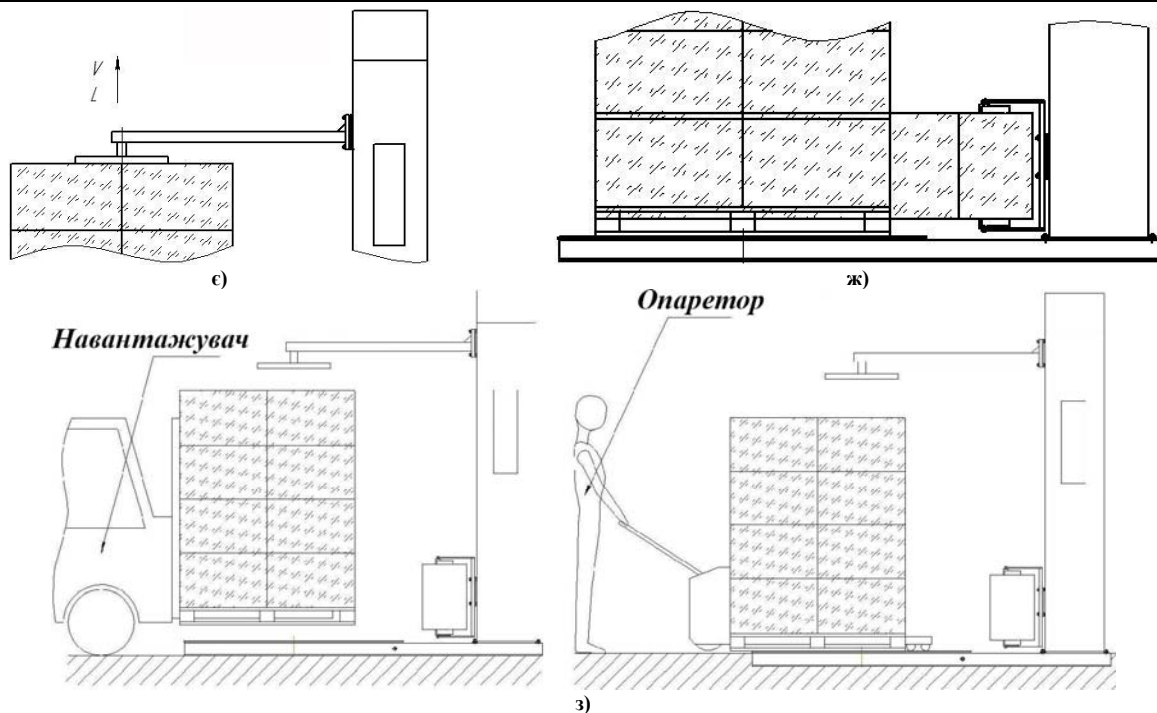


Рис. 2. Загальна схема та етапи технологічного процесу упакування піддонів з вантажами (продовження)

Упакування вантажу здійснюється у чотири стадії [5–10] (рис. 2, е). На першій стадії забезпечується зміцнення низу палети з вантажем. На другій стадії відбувається упакування по всій висоті вантажу з перекриттям 30–50% від ширини палетуючої плівки в процесі руху рулону вгору. Третя стадія полягає в зміцненні верху піддону. На заключному четвертому етапі здійснюється упакування по всій висоті вантажу з перекриттям 30–50% від ширини палетуючої плівки в процесі руху рулону вниз.

Після упакування піддона з вантажем відбувається підняття прижиму (рис. 2, е) та здійснюється ручне відрізування стретч-плівки оператором (рис. 2, ж). Далі проводиться зняття упакованого вантажу з палетообмотувача за допомогою навантажувача або талі (рис. 2, з).

В окремих випадках притискний механізм для фіксування палети з вантажем не використовується. Зокрема це стосується великогабаритних та важких вантажів, які не потребують додаткової фіксації [4; 10].

Обґрунтування робочої гіпотези

Основна ідея компоновального рішення палетообмотувача подана на рис. 3. У запропонованому варіанті машини не передбачено використання двох активних приводів та складної системи керування їх взаємним рухом. Натомість вирішено використати вертикальну ланцюгову передачу 6 для забезпечення руху каретки з рулоном стретч-плівки. Приведення в рух даної ланцюгової передачі здійснюється від електродвигуна 3, що одночасно слугує приводом поворотного стола 1, на якому розміщується піддон з вантажем. Для забезпечення синхронного руху поворотного стола 1 та вертикального ланцюга 6 (каретки з рулоном стретч-плівки) запропоновано використовувати спеціальний привід, що містить конічну зубчасту 2 та дві ланцюгові 4, 5 передачі (рис. 3).

Забезпечення розглянутого вище технологічного процесу упакування вантажів на піддонах (окрім етапів фіксування і розфіксування палети за допомогою зажиму) здійснюватиметься наступним чином. У початковому положенні «ножничний» механізм кріплення каретки з рулоном стретч-плівки знаходиться з іншого боку від опорної колони палетообмотувача по відношенню до піддона з вантажем. При цьому, механізм лише починає огинати привідну зірочку вертикальної ланцюгової передачі. Оператор кріпить кінець стретч-плівки до піддону і запускає машину. За час проходження механізму кріплення каретки від крайнього правого положення на привідній зірочці до крайнього лівого, робочий стіл повинен здійснити 4 повних оберти з метою зміцнення низу палети з вантажем за допомогою стретч-плівки. Далі здійснюватиметься упакування вантажу по всій його висоті з перекриттям 50–80% від ширини палетуючої плівки в процесі руху каретки з рулоном вгору. Після досягнення «ножничним» механізмом верхньої зірочки ланцюгової передачі здійснюватиметься зміцнення верху піддону: за час проходження механізму від крайнього лівого положення на веденій зірочці до крайнього правого, робочий стіл повинен здійснити 4 повних оберти. На заключному етапі палетування каретка рухатиметься вниз уздовж ланцюгової передачі, здійснюючи упакування вантажу по всій його висоті з перекриттям 30–50% від ширини палетуючої плівки. Після досягнення кареткою крайнього правого нижнього положення вона натисне на кінцевий вимикач, який зупинить систему. Після цього оператор зможе відрізати пакувальну плівку та відвантажити піддон.

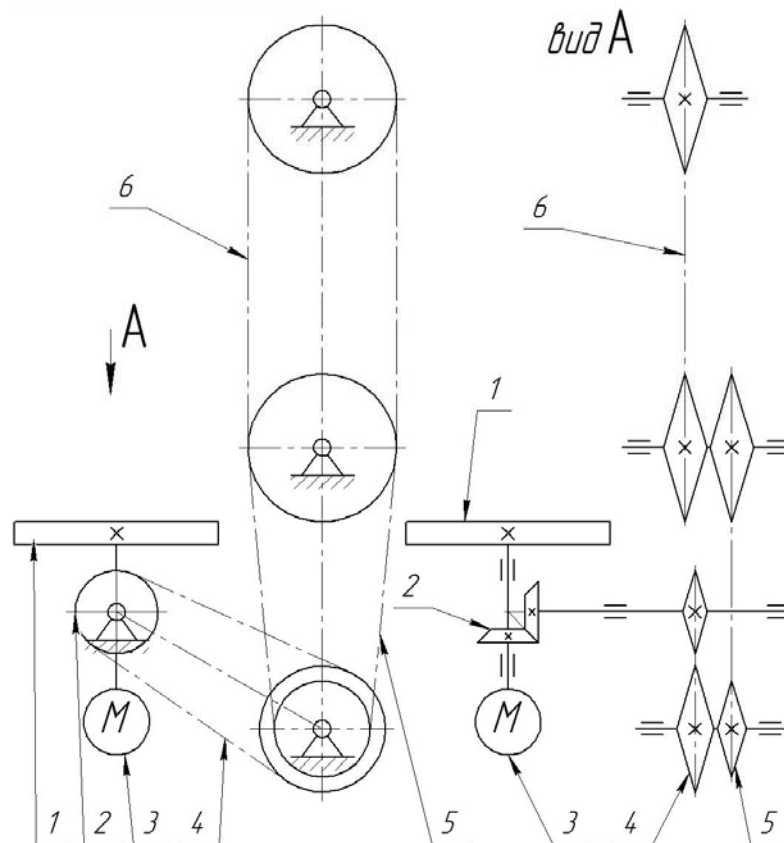


Рис. 3. Запропонована компоновальна схема стаціонарного палетообмотувача з одним активним приводом: 1 – поворотний стіл; 2 – кінцева зубчаста передача; 3 – електродвигун; 4, 5, 6 – ланцюгові передачі

Огляд конструктивних особливостей удосконаленого палетообмотувача

Запропонована вище ідея структури палетообмотувача з одним активним приводом, який міг би повністю забезпечити заданий технологічний процес обмотування вантажів на піддонах, була реалізована у вигляді твердотільної моделі за допомогою програмного продукту SolidWorks (рис. 4).

Поворотний стіл 1, на якому розміщуються палети з вантажами, встановлюється на проміжній рамі 7 і приводиться в рух від мотор-редуктора 3. Проміжна рама 7 через опори 8 монтується на несучій основі 9, яка, в свою чергу, встановлюється на опорній поверхні через регульовані опори 10. На вихідному валу мотор-редуктора також монтується привідна шестірня кінцевої передачі 10, яка через три ланцюгових передачі 4, 5, 6 приводить у рух каретку 12 з рулоном пакувального матеріалу 13. Зірочки вертикальної ланцюгової передачі 6 монтуються на стояку 11. До однієї з ланок ланцюга 6 шарнірно приєднується каретка-рулонотримач 12.

Запропонована конструкція палетообмотувача працює наступним чином. Перед початком запуску машини оператор фіксує кінець пакувального матеріалу (стретч-плівки) у нижній частині піддона. Після увімкнення оператором живлення на електродвигуні 3, каретка 12 з рулоном стретч-плівки 13 починає рухатися, огинаючи нижню зірочку вертикальної ланцюгової передачі 6. На протязі цього часу поворотний стіл 1 повинен здійснити чотири повних оберти з метою фіксації нижньої частини палети. Далі, в процесі руху каретки 12 вгору здійснюватиметься упакування вантажу по всій його висоті з перекриттям 50–80% від ширини палетуєної плівки. За час огинання кареткою 12 верхньої зірочки ланцюгової передачі 6 здійснюватиметься зміцнення верхньої частини палети, тобто робочий стіл знову встигне зробити 4 повних оберти. Після цього каретка 12 рухатиметься вниз, здійснюючи упакування вантажу по всій його висоті з перекриттям 50–80% від ширини палетуєної плівки. Після досягнення кареткою 12 крайнього правого нижнього положення вона натисне на кінцевий вимикач, який зупинить систему. Після цього оператор зможе відрізати пакувальну плівку та відвантажити піддон.

Аналізуючи особливості функціонування запропонованого палетообмотувача, можемо зробити висновки щодо подальших завдань, які необхідно розв'язати в процесі досліджень. По-перше, необхідно обґрунтувати кінематичні характеристики приводу з метою забезпечення синхронності руху поворотного стола 1 та каретки 12 з рулоном пакувального матеріалу 13. Далі необхідно встановити геометричні параметри окремих елементів приводу (зірочки ланцюгових передачі, зубчастих коліс кінцевої передачі тощо). Після цього необхідно вивести рівняння траєкторії і швидкості руху каретки з пакувальним матеріалом в процесі упакування палети з вантажем та обґрунтувати витрати стретч-плівки для різних типорозмірів палет. На завершальному етапі необхідно провести моделювання взаємного руху вантажу на піддоні і рулону зі стретч-плівкою у програмному продукті MathCAD [19] та імітаційний (віртуальний) експеримент в середовищі SolidWorks [20], а також проаналізувати результати теоретичних та

експериментальних досліджень.

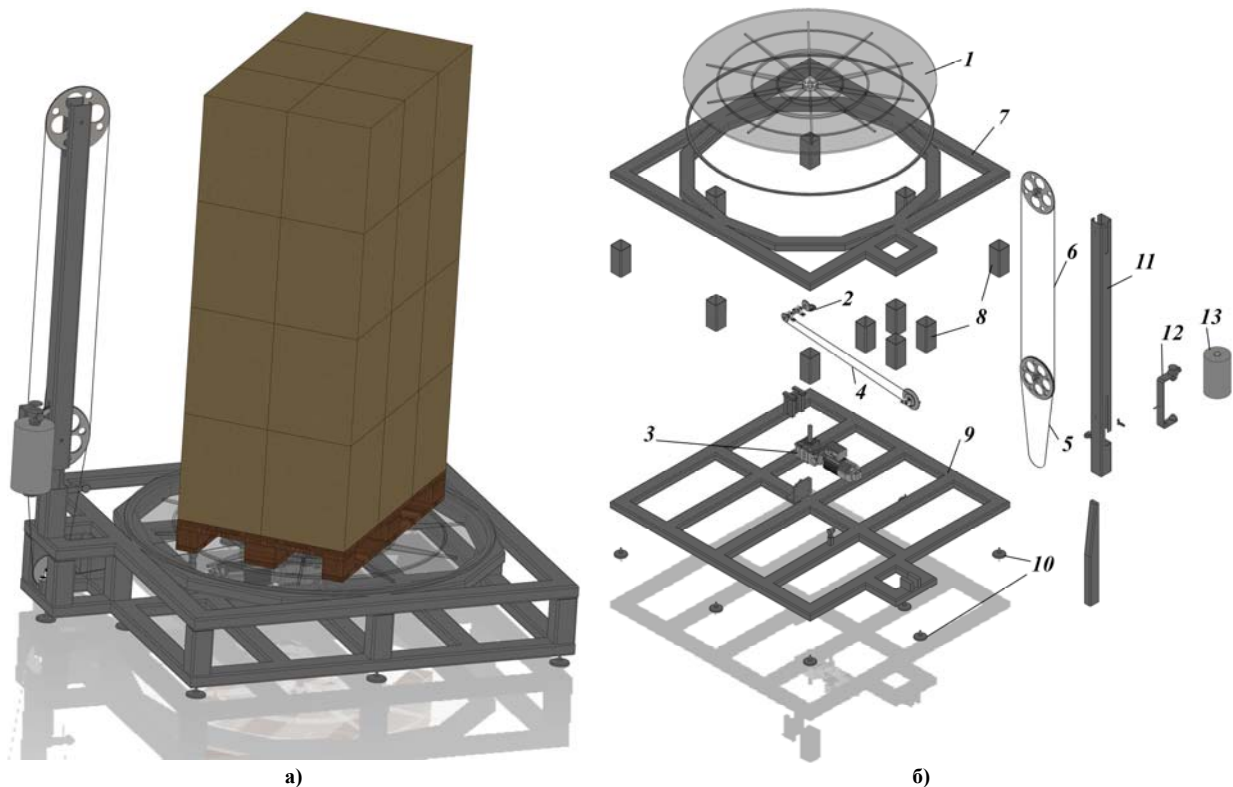


Рис. 4. Загальний вигляд запропонованого палетообмотувача (а – в зборі; б – в рознесеному вигляді)

Аналіз кінематики та встановлення геометричних параметрів приводу палетообмотувача

Кінематична схема приводу палетообмотувача подана на рис. 5. Передавальне відношення вертикальної ланцюгової передачі 6, до якої кріпиться каретка з рулоном пакувального матеріалу (стретч-плівки) повинно дорівнювати одиниці, оскільки згідно з розглянутим вище технологічним процесом упакування вантажів на піддонах тривалість процесу зміцнення низу палети дорівнює тривалості процесу зміцнення верху палети, тобто:

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{z_2}{z_1} = 1, \quad (1)$$

де $\omega_1, \omega_2, r_1, r_2, z_1, z_2$ – кутові швидкості, ділильні радіуси та кількості зубців відповідних зірочок ланцюгової передачі (рис. 5).

У відповідності до зазначених вище стадій технологічного процесу упакування палети, на першій стадії за період переміщення каретки з рулоном стретч-плівки уздовж крайньої нижньої ділянки (тобто в процесі огинання нижньої зірочки вертикальної ланцюгової передачі 6 поворотний стіл 1 з навантаженою палетою повинен здійснити 4 повних оберт. Звідси можемо зробити висновок, що півоберта ведучої зірочки вертикальної ланцюгової передачі 6 приблизно дорівнюватиме чотирьом обертам поворотного стола 1, а отже загальне передавальне відношення передачі від ведучого валу ланцюгової передачі 6 до вала електродвигуна 3 (і поворотного стола 1) становитиме:

$$4 \cdot \omega_2 = 4 \cdot \omega_3 = 0.5 \cdot \omega_8 \Rightarrow \omega_2 = \omega_3 = \frac{1}{8} \cdot \omega_8; \quad (2)$$

$$u_{28} = u_{38} = u_{34} \cdot u_{56} \cdot u_{78} = \frac{\omega_2}{\omega_8} = \frac{1}{8},$$

де $\omega_3 = \omega_2$ – кутова швидкість привідного вала вертикальної ланцюгової передачі 6; ω_8 – кутова швидкість вала електродвигуна 3 (рис. 5); u_{34}, u_{56}, u_{78} – передавальні відношення ланцюгових передач 5, 4 та конічної зубчастої передачі 2, відповідно.

Зміцнивши низ палети, стретч-плівка повинна рухатися вгору та обмотувати вантаж по всій його висоті з перекриттям 30–50% від ширини палетуємого матеріалу. Тобто відношення лінійного переміщення вертикальної ланцюгової передачі 6 до кута повороту вала електродвигуна 3 (а отже й відношення лінійної швидкості вертикальної ланцюгової передачі 6 до кутової швидкості вала електродвигуна 3) повинне бути рівним:

$$\frac{S_6}{\varphi_8} = \frac{(0.3 \dots 0.5 \cdot h)}{2 \cdot \pi} \Rightarrow S_6 = \frac{(0.3 \dots 0.5 \cdot h)}{2 \cdot \pi} \cdot \varphi_8; \quad (3)$$

$$V_6 = \frac{(0.3 \dots 0.5 \cdot h)}{2 \cdot \pi} \cdot \omega_8,$$

де φ_8 – кут повороту вала електродвигуна; h – ширина стретч-плівки.

З іншого боку лінійні переміщення та швидкість ланцюга 6 можуть бути визначені за формулами [18]:

$$S_6 = r_2 \cdot \varphi_2; \quad V_6 = r_2 \cdot \omega_2. \quad (4)$$

Прирівнюючи вирази для швидкостей із рівнянь (3) і (4) та враховуючи передавальне відношення передачі, визначене за формулою (2), матимемо:

$$\frac{(0.3 \dots 0.5 \cdot h)}{2 \cdot \pi} \cdot \omega_8 = r_2 \cdot \omega_2 \Rightarrow \frac{(0.3 \dots 0.5 \cdot h)}{2 \cdot \pi} \cdot \omega_8 = r_2 \cdot \frac{1}{8} \cdot \omega_8 \Rightarrow r_2 = \frac{4 \cdot (0.3 \dots 0.5 \cdot h)}{\pi} = \frac{1,2 \dots 2 \cdot h}{\pi}. \quad (5)$$

Таким чином, формула (5) дозволяє наближено визначити дільний радіус ведучої зірочки вертикальної ланцюгової передачі у залежності від необхідного коефіцієнту перекриття плівкою вантажу в процесі руху каретки з рулоном плівки шириною h від нижнього до верхнього положення або навпаки (тобто на другій та четвертій стадіях палетування).

Встановимо геометричні параметри приводу палетообмотувача для ширини стрічки $h = 300$ і і . У відповідності з формулою (5), задаючи коефіцієнт перекриття плівки 0,4, можемо визначити необхідний радіус ведучої зірочки вертикальної ланцюгової передачі 6 (рис. 5):

$$r_2 \approx \frac{4 \cdot (0.4 \cdot h)}{\pi} = \frac{4 \cdot (0.4 \cdot 300)}{\pi} = 152,9 \text{ і і } . \quad (6)$$

Радіус веденої зірочки вертикальної ланцюгової передачі 6 буде аналогічним – $r_1 = r_2 \approx 152,9$ і і , оскільки процеси зміцнення верху і низу палети з вантажем за тривалістю повинні бути однакові (тобто становити приблизно 4 оберти поворотного стола за час проходження кареткою відповідної зірочки ланцюгової передачі). Решту геометричних параметрів приводу палетообмотувача задаються конструктивно (табл. 1), беручи до уваги необхідність забезпечення конкретного передавального відношення $u_{28} = \frac{1}{8}$ (формула 2).

Таблиця 1

Геометричні параметри приводу розробленого палетайзера

$z_1 = z_2 = z_3$	z_4	z_5	z_6	$z_7 = z_8$	$r_1 = r_2 = r_3, \text{ і і }$	$r_4, \text{ і і }$	$r_5, \text{ і і }$	$r_6, \text{ і і }$	$r_7 = r_8, \text{ і і }$
101	30	50	21	22	153,17	45,56	75,85	31,95	36,18

Остаточне передавальне відношення приводу палетообмотувача становитиме:

$$u_{28} = u_{38} = u_{34} \cdot u_{56} \cdot u_{78} = \frac{z_4}{z_3} \cdot \frac{z_6}{z_5} \cdot \frac{z_8}{z_7} = \frac{30}{101} \cdot \frac{21}{50} \cdot \frac{22}{22} \approx \frac{1}{8,02} \approx \frac{1}{8}. \quad (7)$$

Обґрунтування траєкторії, швидкості руху та витрат пакувального матеріалу в процесі обмотування вантажу на піддоні

На рис. 6 представлено спрощену розрахункову схему процесу упакування вантажу на піддоні. У відповідності з нею, технологічний процес розпочинається із позиції **I**, коли каретка знаходиться на привідній зірочці з протилежної сторони відносно палети. При цьому стретч-плівка фіксується оператором до дна палети. Далі вмикається привід палетообмотувача (мотор-редуктор 3, який приводить у рух поворотний стіл 1 та через конічну зубчасту 2 та ланцюгові 4, 5 передачі ланцюгову передачі 6). В процесі проходження кареткою нижньої зірочки відбувається зміцнення низу палети.

Далі, досягнувши позиції **II**, каретка починає рухатися вгору вздовж прямолінійної вітки вертикальної ланцюгової передачі 6, обмотуючи вантаж по всій його висоті з певним коефіцієнтом перекриття. На ділянці **III** відбувається огинання кареткою веденої зірочки ланцюгової передачі 6 та зміцнення верхньої частини палети. Після цього, каретка починає рухатися вниз уздовж прямолінійної вітки ланцюгової передачі 6 (ділянка **IV**), обмотуючи вантаж по всій його висоті з певним коефіцієнтом перекриття. Після досягнення кареткою позиції **I**, відбувається автоматична зупинка системи з допомогою кінцевого вимикача.

Враховуючи формули (2)–(7), запишемо залежності вертикального та горизонтального положення центру каретки (шарніру її кріплення x_k , y_k) відносно осі ведучої зірочки ланцюгової передачі 6 від кута φ повороту привідного вала електродвигуна 3, вважаючи, що при $\varphi = 0$: $x_k = r_2 + d$, $y_k = 0$, де d – найкоротша відстань від ланцюга 6 до шарніру кріплення каретки (висота опорно-напрямого механізму каретки) (рис. 6):

$$x_k = \begin{cases} (r_2 + d) \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{8}\right), & \text{якщо } 0 \leq \varphi \leq 8\pi; \\ -(r_2 + d), & \text{якщо } 8\pi \leq \varphi \leq 8 \cdot \left(\pi + \frac{H}{r_2}\right); \\ -(r_2 + d) \cdot \cos\frac{\varphi - 8 \cdot \left(\pi + \frac{H}{r_2}\right)}{8}, & \text{якщо } 8 \cdot \left(\pi + \frac{H}{r_2}\right) \leq \varphi \leq 8 \cdot \left(2 \cdot \pi + \frac{H}{r_2}\right); \\ (r_2 + d), & \text{якщо } 8 \cdot \left(2 \cdot \pi + \frac{H}{r_2}\right) \leq \varphi \leq 16 \cdot \left(\pi + \frac{H}{r_2}\right); \end{cases}$$

$$y_k = \begin{cases} (r_2 + d) \cdot \sin\left(\frac{\varphi}{8}\right), & \text{якщо } 0 \leq \varphi \leq 8\pi; \\ r_2 \cdot \left(\frac{\varphi - 8\pi}{8}\right), & \text{якщо } 8\pi \leq \varphi \leq 8 \cdot \left(\pi + \frac{H}{r_2}\right); \\ H + (r_2 + d) \cdot \sin\frac{\varphi - 8 \cdot \left(\pi + \frac{H}{r_2}\right)}{8}, & \text{якщо } 8 \cdot \left(\pi + \frac{H}{r_2}\right) \leq \varphi \leq 8 \cdot \left(2 \cdot \pi + \frac{H}{r_2}\right); \\ H - r_2 \cdot \frac{\varphi - 8 \cdot \left(2 \cdot \pi + \frac{H}{r_2}\right)}{8}, & \text{якщо } 8 \cdot \left(2 \cdot \pi + \frac{H}{r_2}\right) \leq \varphi \leq 16 \cdot \left(\pi + \frac{H}{r_2}\right), \end{cases} \quad (8)$$

де $H = y_6$ – міжосьова відстань вертикальної ланцюгової передачі 6 (рис. 5).

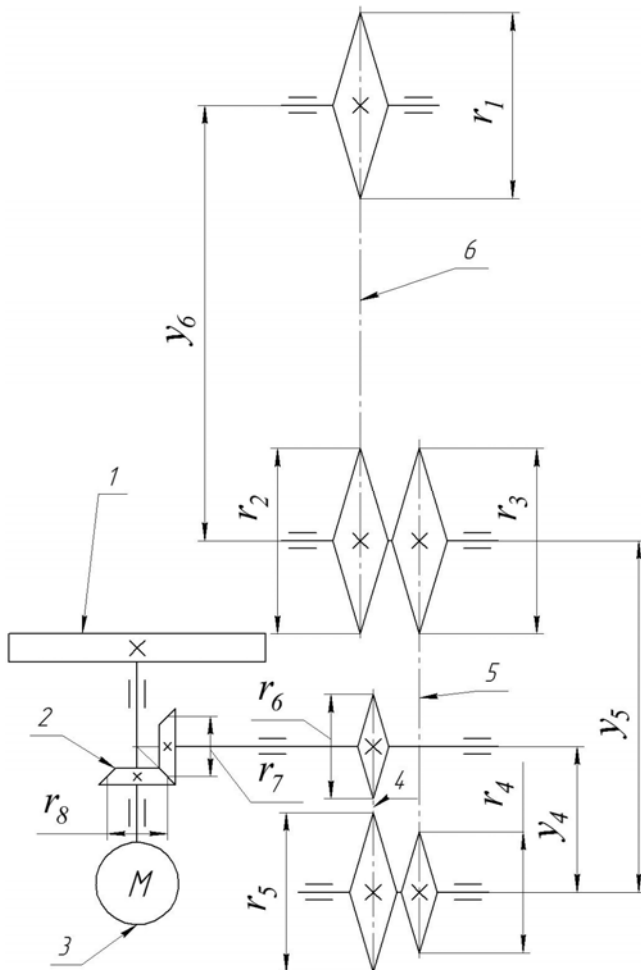


Рис. 5. Кінематична схема приводу запропонованого палетообмотувача

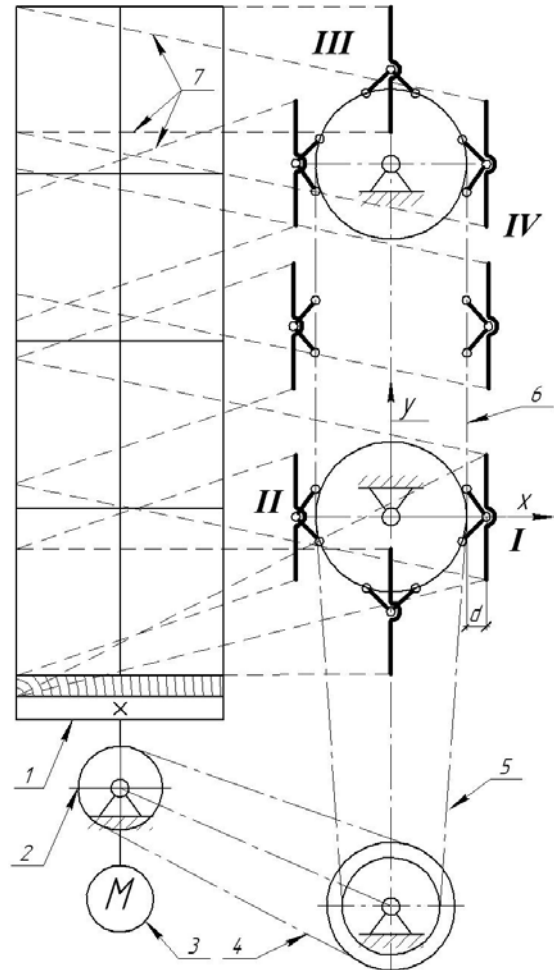


Рис. 6. Розрахункова схема процесу обмотування палети

Задаючи геометричні параметри запропонованого механізму переміщення каретки з рулоном стретч-плівки (рис. 7): $r_2 \approx 153,17$ і $d \approx 18,85$ і $H \approx 1501,28$ і, з використанням рівнянь (8) на рис. 8 побудовано траєкторію руху центру (опорного шарніру) каретки з рулоном стретч-плівки, а на рис. 9 – графічні залежності координат і швидкостей руху опорного шарніру від кута повороту привідного вала електродвигуна.

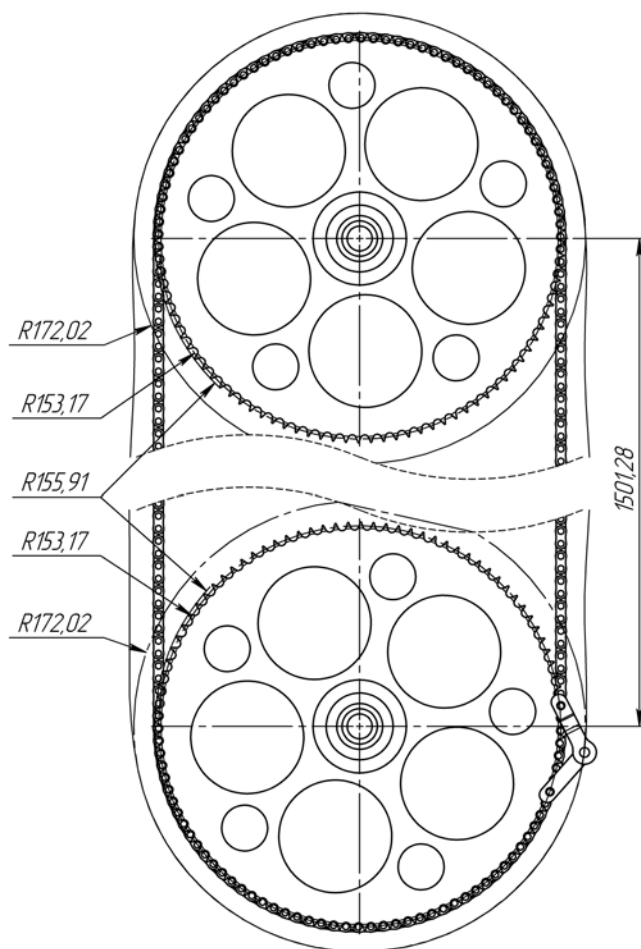


Рис. 7. Геометричні параметри запропонованого механізму переміщення каретки з рулоном пакувального матеріалу

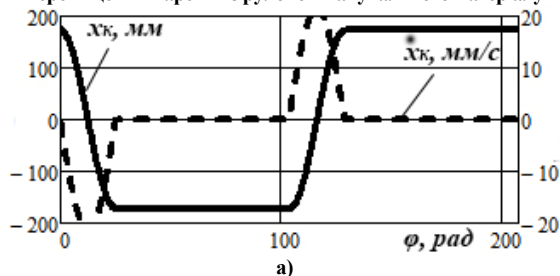


Рис. 9. Графічні залежності координат і швидкостей руху опорного шарніру від кута повороту приводного вала електродвигуна

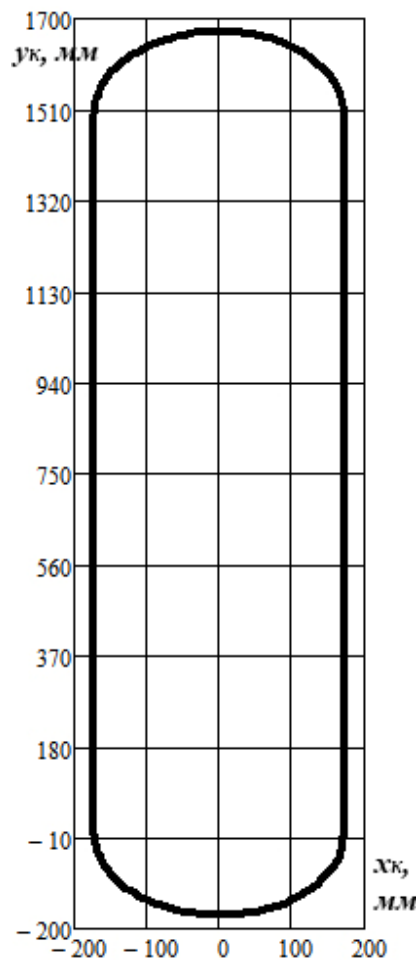
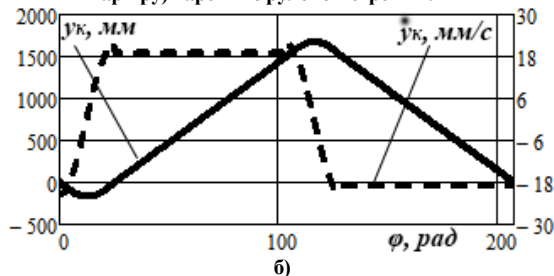


Рис. 8. Теоретична траєкторія руху центру (опорного шарніру) каретки з рулоном стретч-плівки



За отриманими залежностями (8) та на основі рис. 8-9, можемо встановити загальну кількість обертів, яку здійснює вантаж за весь цикл технологічного процесу обмотування палети:

$$N = \frac{\varphi_{\max}}{2\pi} = \frac{16 \cdot \left(\pi + \frac{H}{r_2} \right)}{2\pi} = \frac{8 \cdot \left(\pi + \frac{H}{r_2} \right)}{\pi} \quad (9)$$

Зокрема, для розглянутого вище механізму, матимемо:

$$N = \frac{8 \cdot \left(\pi + \frac{H}{r_2} \right)}{\pi} = \frac{8 \cdot \left(\pi + \frac{1501,28}{153,17} \right)}{\pi} = 32,959 \approx 33 \text{ (оберти)}. \quad (10)$$

Знаючи периметр P вантажу на палеті та умовно вважаючи пакувальний матеріал нерозтяжним, можемо наближено встановити його витрату для упакування однієї палети:

$$W \approx P \cdot N = 2 \cdot (a + b) \cdot \frac{8 \cdot \left(\pi + \frac{H}{r_2} \right)}{\pi}, \quad (11)$$

де a, b – відповідно, ширина і довжина вантажу на палеті.

Зокрема, для європалети розміром 800×1200 мм та висотою обмотуваного вантажу 1800 мм, за

коефіцієнта перекриття 0,4 та ширини плівки $h = 300$ і і необхідна довжина пакувального матеріалу становить:

$$W = 2 \cdot (a + b) \cdot \frac{8 \cdot \left(\pi + \frac{l}{r_2} \right)}{\pi} = 2 \cdot (800 + 1200) \cdot \frac{8 \cdot \left(\pi + \frac{1501,28}{153,17} \right)}{\pi} \approx 132 \text{ і } . \quad (12)$$

Діаграма зміни необхідної довжини пакувального матеріалу залежно від геометричних параметрів палети зображена на рис. 10.

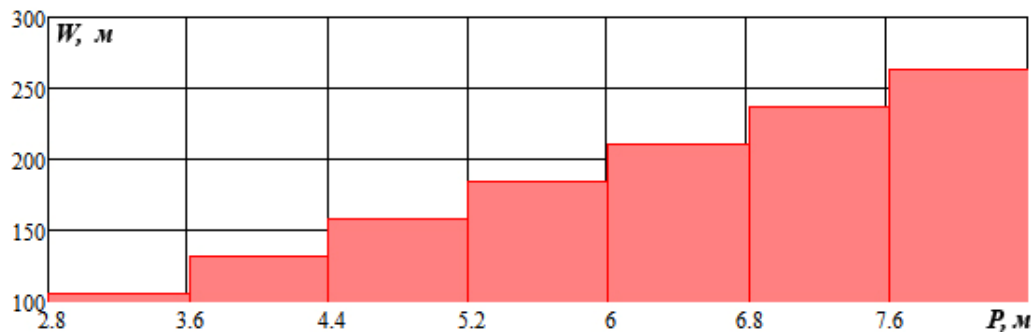


Рис. 10. Гістограма зміни необхідної довжини W пакувального матеріалу в залежності від периметру вантажу на палеті P

Імітаційне моделювання руху та визначення витрат пакувального матеріалу в програмному продукті SolidWorks

З метою підтвердження теоретичних положень, викладених вище, за допомогою програмного продукту SolidWorks [20] була розроблена імітаційна модель руху пакувального матеріалу в процесі обмотування вантажу на піддоні (рис. 11). Робочий стіл 4 приводився в рух мотор-редуктора 5 та через механічний привід (конічну і дві ланцюгових передачі) 3 забезпечував переміщення каретки 2 з пакувальним матеріалом вздовж вертикальної ланцюгової передачі 1. В якості базової точки для проведення моделювання було обрано точку на середині рулону стретч-плівки.

Віртуальний експеримент полягав в імітаційному моделюванні одного циклу технологічного процесу обмотування палети. Тобто на початку моделювання пакувальний матеріал був довільно зафіксований в крайній нижній точці палети, а каретка була розміщена на привідній зірочці вертикальної ланцюгової передачі з протилежної сторони відносно палети. Далі моделювався рух поворотного стола з кутовою швидкістю, у 8 разів більшою ніж кутова швидкість вертикальної ланцюгової передачі.

Таким чином, на основі імітаційного моделювання руху пакувального матеріалу вдалося побудувати його траєкторію 6 (рис. 11) та визначити витрату стретч-плівки без урахування можливості її розтягування. Зокрема, для європалети розміром 800×1200 мм та висотою обмотуваного вантажу 1800 мм, за коефіцієнта перекриття 0,4 та ширини плівки $h = 300$ і і необхідна довжина пакувального матеріалу становить 142,15 м. Траєкторія руху плівки повністю відтворює технологічний процес палетування: 1) зміцнення низу палети 4 обертами пакувального матеріалу (червона лінія у нижній частині траєкторії); 2) обмотування по висоті вантажу з коефіцієнтом перекриття 0,4 при русі каретки вгору (червона лінія у середній частині траєкторії); 3) зміцнення верху палети 4 обертами пакувального матеріалу (червона і сіра лінії у верхній частині траєкторії); 4) обмотування вантажу по всій його висоті з коефіцієнтом перекриття 0,4 при русі каретки вниз (сіра лінія у середній частині траєкторії).

Висновки

У статті проведено огляд сучасного палетоформуального обладнання та проаналізовано технологічний процес напівавтоматичного упакування вантажів на піддонах. Зокрема, детально розглянуто сім етапів даного процесу: 1) встановлення палети з вантажем на палетообмотувач; 2) опускання притискного пристрою; 3) кріплення кінця стретч-плівки; 4) обгортання палети; 5) підймання притискного пристрою; 6) відрізання стретч-плівки; 7) зняття палети з вантажем із палетообмотувача.

Обґрунтовано робочу гіпотезу та запропоновано компонувальне рішення стаціонарного палетообмотувача з одним активним приводом. Розглянуто можливості забезпечення заданого технологічного процесу упакування вантажів на піддонах за допомогою запропонованої установки.

Обґрунтовано конструктивні особливості удосконаленого палетообмотувача з одним активним приводом, який міг би повністю забезпечити заданий технологічний процес обмотування вантажів на піддонах. У програмному продукті SolidWorks реалізована твердотільна модель запропонованого палетайзера та розглянуто особливості його функціонування.

Проведено аналіз кінематики приводу палетообмотувача та обґрунтовано передавальні відношення відповідних передач, а також радіуси відповідних коліс і зірочок. Побудовано траєкторію руху каретки з рулоном пакувального матеріалу, встановлено залежності швидкості руху рулону та аналітично виведено формулу для визначення витрат плівки в процесі обмотування вантажів на піддонах різних розмірів.

У програмному продукті SolidWorks проведено імітаційне моделювання руху плівки в процесі

обмотування вантажу на палеті, побудовано відповідну траєкторію руху плівки та встановлено її необхідну довжину. За результатами віртуального експерименту зроблено висновок про задовільну збіжність результатів теоретичних і експериментальних досліджень (похибка знаходиться у межах 10%).

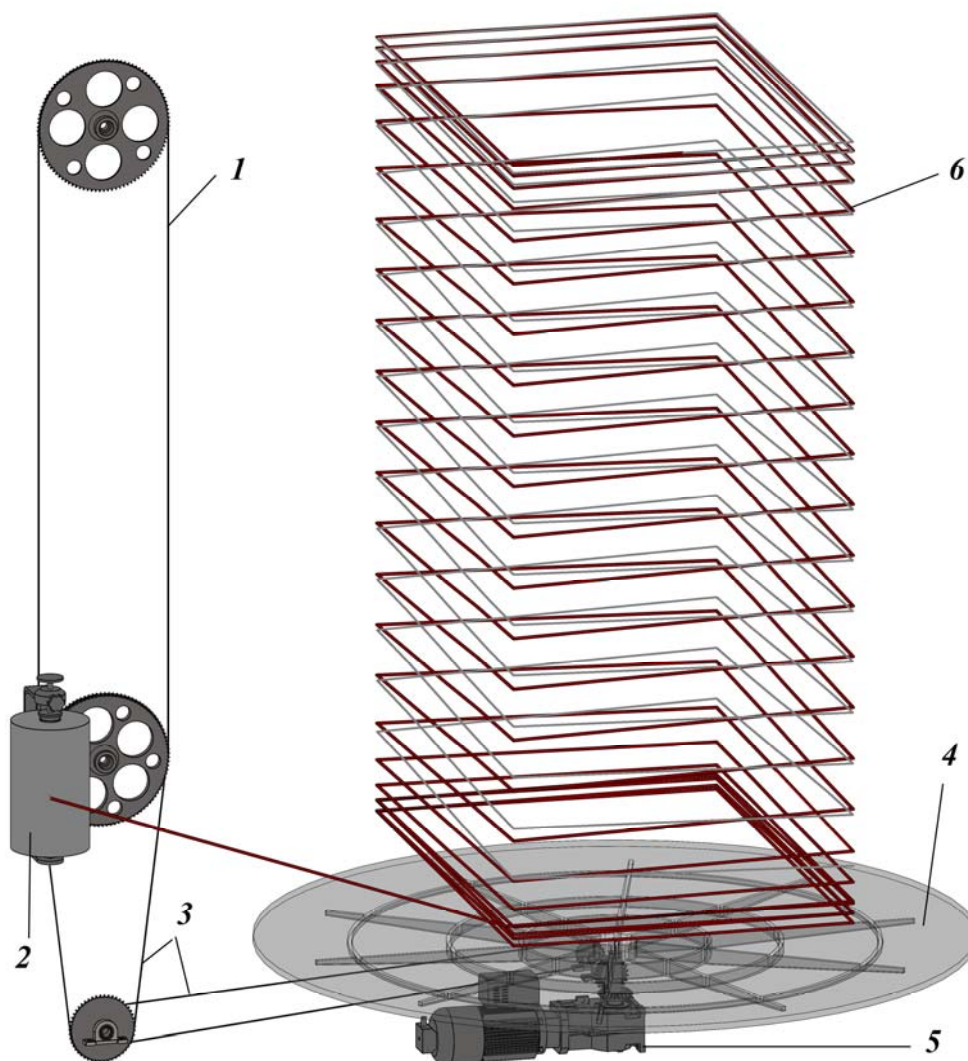


Рис. 11. Імітаційна модель руху пакувального матеріалу, реалізована в програмному продукті SolidWorks

Література

1. Валецький Б. П. Особливості процесу автоматизованого групового пакування / Б. П. Валецький // Технологічні комплекси. – 2010. – № 1. – С. 87–93.
2. Валецький Б. П. Упаковка великогабаритних вантажів / Б. П. Валецький // Наукові нотатки. – 2013. – № 41. – С. 17–22.
3. Беспалько А. П. Обладнання для скріплення транспортних пакетів (стан, перспективи, тенденції розвитку) / А. П. Беспалько, О. М. Гавва, С. В. Токарчук // Упаковка. – 2010. – № 2. – С. 54–58.
4. Шипинский В. Г. Упаковка и средства пакетирования / В. Г. Шипинский. – Минск : УП "Технопринт", 2004. – 416 с.
5. Угрин Я. М. Основы пакувальної справи. Полімерна тара / Я. М. Угрин, Ю. Й. Хведчин, І. І. Регей. – Львів : Українська академія друкарства, 2011. – 142 с.
6. Осика В. А. Пакувальні матеріали і тара / В. А. Осика. – К. : Київський національний торговельно-економічний університет, 2006. – 372 с.
7. Гавва О. М. Пакувальне обладнання в 3 кн. Кн. 1. Обладнання для пакування продукції в споживчу тару / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко. – К. : «Упаковка», 2008. – 436 с.
8. Гавва О. М. Пакувальне обладнання в 3 кн. Кн. 2. Обладнання для групового пакування / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко. – К. : «Упаковка», 2007. – 136 с.
9. Гавва О. М. Пакувальне обладнання в 3 кн. Кн. 3. Обладнання для обробки транспортних пакетів / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко. – К. : «Упаковка», 2006. – 96 с.
10. Пакувальне обладнання / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко, О. О. Кохан. – К. : ІАЦ «Упаковка», 2010. – 744 с.
11. Моделювання процесів пакування / А. І. Соколенко, В. Л. Яровий, В. А. Піддубний,

- К. В. Васильківський, О. Ю. Шевченко ; за ред. Соколенка А. І. – Вінниця : Нова книга, 2004. – 272 с.
12. Wood R. Trends in large pallet wrapping in France // *Plast Rubbers Text.* – 1971. – Vol. 2, Issue 2. – pp. 54–55.
 13. Johnson F. M., Langford A. J. Development and future potential of stretchwrapping // *Plastics and rubber international.* – 1982. – Vol. 7, Issue 6. – pp. 217–220.
 14. Thysen A. The pros and cons of various pallet wrapping methods // *ZKG International.* – 2003. – Vol. 56, Issue 11. – pp. 35–40.
 15. Kristiansen U. S. Tips for choosing a pallet-wrapping method // *Powder and Bulk Engineering.* – 2003. – Vol. 17, Issue 5. – pp. 37–43.
 16. Lingle R. See's watches pallet wrapping productivity jump // *Packaging Digest.* – 1999. – Vol. 36, Issue 5. – pp. 44–46.
 17. Popa C. L. et al. Modelling, Simulation and Optimization of a Packaging and Palletizing System // *Applied Mechanics and Materials.* – 2015. – Vol. 760. – pp. 205–211.
 18. Кіницький Я. Т. Теорія механізмів і машин / Я. Т. Кіницький. – К. : Наукова думка, 2002. – 656 с.
 19. Алгоритмізація, програмування, числові та символічні обчислення в пакеті MathCAD / Я. С. Паранчук, А. В. Маляр, Р. Я. Паранчук, І. Р. Головач. – Львів : Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2008. – 164 с.
 20. Алямовский А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А. А. Алямовский. – М. : ДМК-Пресс, 2010. – 464 с.

References

1. Valetskiy B. P. Osoblyvosti protsesu avtomatyzovanoho hrupovoho pakuvannya / B. P. Valetskiy // *Tekhnolohichni komplekсы.* – 2010. – № 1. – pp. 87–93.
2. Valetskiy B. P. Upakovka velykohabarytnykh vantazhiv / B. P. Valetskiy // *Naukovi notatky.* – 2013. – № 41. – pp. 17–22.
3. Bepalko A. P. Obladnannia dlia skriplennia transportnykh paketiv (stan, perspektivy, tendentsii rozvytku) / A. P. Bepalko, O.M. Havva, C. B. Tokarchuk // *Upakovka.* – 2010. – № 2. – pp. 54–58.
4. Shipinskij V. G. Upakovka i sredstva paketirovaniya / V. G. Shipinskij. – Minsk: UP "Tehnoprint", 2004. – 416 p.
5. Uhryn Ya. M. Osnovy pakuvalnoi spravy. Polimerna tara / Ya. M. Uhryn, Yu. Y. Khvedchyn, I. I. Rehei. – Lviv: Ukrainska akademiia drukarstva, 2011. – 142 p.
6. Osyka V. A. Pakuvalni materialy i tara / V. A. Osyka. – K.: Kyivskiy natsionalnyi torhovelno-ekonomichnyi universytet, 2006. – 372 p.
7. Havva O. M. Pakuvalne obladdnannia v 3 kn. Kn. 1. Obladnannia dlia pakuvannya produktii v spozhyvchu taru / O. M. Havva, A.P. Bepalko, A. I. Volchko. – K. : «Upakovka», 2008. – 436 p.
8. Havva O.M. Pakuvalne obladdnannia v 3 kn. Kn. 2. Obladnannia dlia hrupovoho pakuvannya / O. M. Havva, A. P. Bepalko, A.I. Volchko. – K. : «Upakovka», 2007. – 136 p.
9. Havva O. M. Pakuvalne obladdnannia v 3 kn. Kn. 3. Obladnannia dlia obrobky transportnykh paketiv / O. M. Havva, A. P. Bepalko, A.I. Volchko. – K. : «Upakovka», 2006. – 96 p.
10. Pakuvalne obladdnannia / O. M. Havva, A. P. Bepalko, A. I. Volchko, O. O. Kokhan. – K.: IATs «Upakovka», 2010. – 744 p.
11. Modeliuvannia protsesiv pakuvannya / A. I. Sokolenko, V. L. Yarovyi, V. A. Piddubnyi, K. V. Vasylykivskiy, O. Yu. Shevchenko. – Za redaktsiieiu Sokolenka A. I. – Vinnytsia: Nova knyha, 2004. – 272 p.
12. Wood R. Trends in large pallet wrapping in France // *Plast Rubbers Text.* – 1971. – Vol. 2, Issue 2. – pp. 54–55.
13. Johnson F. M., Langford A. J. Development and future potential of stretchwrapping // *Plastics and rubber international.* – 1982. – Vol. 7, Issue 6. – pp. 217–220.
14. Thysen A. The pros and cons of various pallet wrapping methods // *ZKG International.* – 2003. – Vol. 56, Issue 11. – pp. 35–40.
15. Kristiansen U. S. Tips for choosing a pallet-wrapping method // *Powder and Bulk Engineering.* – 2003. – Vol. 17, Issue 5. – pp. 37–43.
16. Lingle R. See's watches pallet wrapping productivity jump // *Packaging Digest.* – 1999. – Vol. 36, Issue 5. – pp. 44–46.
17. Popa C. L. et al. Modelling, Simulation and Optimization of a Packaging and Palletizing System // *Applied Mechanics and Materials.* – 2015. – Vol. 760. – pp. 205–211.
18. Kinytskyi Ya. T. Teoriia mekhanizmiv i mashyn / Ya. T. Kinytskyi. – K.: Naukova dumka, 2002. – 656 с.
19. Alhorytmizatsiia, prohramuvannia, chyslovi ta symvolni obchyslennia v paketi MathCAD / Ya. S. Paranchuk, A. V. Maliar, R.Ya. Paranchuk, I. R. Holovach. – Lviv: Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika», 2008. – 164 с.
20. Aljamovskij A. A. Inzhenernye raschety v SolidWorks Simulation / A. A. Aljamovskij. – M.: DМК-Press, 2010. – 464 с.

Рецензія/Peer review : 09.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 16.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ДИНАМІКА РІДИННОГО АВТОБАЛАНСИРА: ВПЛИВ КОРІОЛІСОВИХ СИЛ

У роботі досліджується явище автобалансування роторів машин рідинними автобалансирами, розробляється теоретичне обґрунтування, що пояснює експериментально відкрите явище самобалансування рідиною на дорезонансних і всіх інших режимах обертання ротора. Розроблене теоретичне обґрунтування автоматичного балансування рідиною роторів з вертикальною віссю обертання відрізняється від існуючих положень врахуванням гідрравлічних властивостей рідини і демпфування системи. Також досліджено вплив коріолісових сил інерції, які виникають під час обертання і викликають своєрідні гравітаційні хвилі, що поширюються в нестисливій рідині. Розглянуті хвилі називають інерційними. Оскільки коріолісові сили не роблять роботи над рідиною, яка обертається, енергія, що міститься в цих хвилях, цілком кінетична.

Ключові слова: ротор, автоматичне балансування (самобалансування), автобалансируючий пристрій (АБП), коріолісові сили, інерційні хвилі.

I.V. DRACH

Khmelnitsky National University

DYNAMICS OF THE FLUID BALANCER: INFLUENCE OF CORIOLIS FORCES OF INERTIA

Traditional methods are ineffective for machines with variable rotor imbalance and for balancing machine rotors without a halt in maintenance conditions. Automatic balancing by means of devices with free correcting masses movement is the most reliable, perspective and often the only possible method for reduction of vibration in such machines. The current work is devoted to system research of the method mentioned, particularly to studying the fundamental natural phenomenon – rotor self-balancing with the help of passive auto-balancing units (ABD) which look like cavity chambers, partly filled with working media (liquid, granular materials) being passive regulators of direct action which don't need supply of energy and control system for correcting masses movement. The author contribution to solution of this problem is realized in theoretical development the theory of automatic liquid balancing of rotors with vertical rotation axis, which differs from existing statements by taking into account hydraulic properties of liquid and system damping, two-dimensional self-balancer model. It allows to claim that: in liquid self-balancer liquid aims to settle itself against imbalance not only in above resonance but also in preresonance rotator rotation as well as at the resonance itself; automatic balancing by liquid is effective for elastic strained rotors, rotors on elastic bearings, where there is a difference between force direction from imbalance and flexure or shift of rotor. Also, the influence of the coriolis forces of inertia, which arise during the rotation, is investigated, and cause unique gravitational waves propagating in a incompressible fluid. The considered waves are called inertial waves. The article deals with the process of wave forming in liquid in a chamber of a liquid auto-balancing device partially filled with a liquid for rotors under non-stationary modes of the system's motion. Since the coriolis forces do not work on the moving fluid, the energy contained in these waves is completely kinetic.

Keywords: rotor, imbalance, automatic balancing (self-balancing), auto-balancing device (ABD), coriolis forces, inertial waves.

Вступ

Для усунення дисбалансу тіла, що обертається, використовують рідинні автобалансуючі пристрої (АБП) у вигляді порожнистої камери з рідкими робочими тілами [1]. Вони є стандартною функцією у більшості побутових пральних машин, але також використовуються у важких промислових обертових машинах. До прикладу, для пральних машин використовуються рідинні стабілізатори, які складаються з порожнистого кільця, подібного до гумового обруча але, зазвичай, з прямокутним перерізом, що містить невелику кількість рідини. Кільце, як правило, кріпиться над барабаном [2–4]. Рідина в кільці вільно переміщається і прагне поєднати головну центральну вісь інерції ротора з його віссю обертання.

Основна ідея з'явилася вже в 1912 році, а патент США був наданий в 1916 році (Леблан, 1916 [5]), де і було викладено робочий принцип рідинного балансира. А саме, коли машина обертається при високій кутовій швидкості Ω , рідина утворює тонкий шар на внутрішній поверхні зовнішньої стінки, зображений на рис. 1 [5].

Розглядається ситуація, коли присутня незбалансована маса m , наприклад, через нерівномірність розподілу одягу в пральній машині. Ротор має критичну кутову швидкість Ω_{cr} , де відцентрові сили зрівноважуються силами, зумовленими відновлюваними пружинами. Нижче цієї швидкості ($\Omega < \Omega_{cr}$) центр маси рідини буде розташовуватися «на тій самій стороні», що і незбалансована маса, як показано на рис. 1 а (тут M позначає масу порожнього ротора, а $\mathcal{M}$ – маса рідини, що міститься в камері). При певній надкритичній кутовій швидкості $\Omega > \Omega_{cr}$ (скажімо, під час процесу сушки) центр маси рідини переміститься на "протилежну сторону" відносно незбалансованої маси, як показано на рисунку 1 б, в результаті чого зменшиться "дисбаланс маси" і, таким чином, зменшаться відцентрові сили і зменшаться амплітуди коливань ротора.

Оригінальний макет, наведений у патенті [5], складався з одного або декількох дуже вузьких концентричних каналів (вузьких у радіальному напрямку, але широких в осьовому напрямку, тобто перпендикулярно до площини, зображеної на рис. 1), частково заповненого "рідиною або дуже малими сталевими кульками або металевими дробинками" [5]. Сирл (1932) [6] розглядав і піддавав критиці рідинний баланsir Леблана; а пізніше і Ден Гартог (1985) [7] підтримав погляди Сирла. Тут йдеться про те, що баланsir Леблана не може працювати з рідиною, а лише із сталевими кульками, і, таким чином, винахід не був визнаним. Імовірно, це пов'язано з дуже вузькими каналами, які в основному запобігають утворенню

поверхневих хвиль.

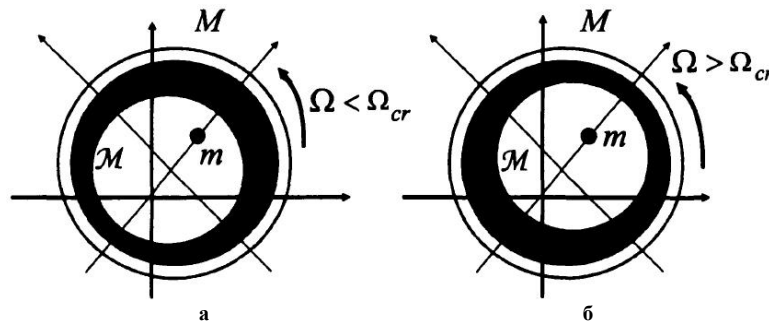


Рис. 1. Принцип роботи рідинного стабілізатора за Лебланом

Тим не менш, автоматична пральна машина, оснащена рідинним балансиrom, була представлена в 1940 році і запатентована в 1945 році (Дайер, 1945) [8]. Макет рідинного балансира був дуже схожий на сучасні макети, з широким концентричною камерою, досить широкою, щоб надати можливість утворенню поверхневій хвилі з великими амплітудами.

Ідея, таким чином, не нова, але останнім часом спостерігається відроджений інтерес до неї як у промисловості, так і в наукових сферах.

Експериментальні дослідження рідинних демпферів проводили Кашара та ін. [9] і Накамура [10]. Що стосується математичних моделей, то прості моделі із зосередженими масами були розглянуті Баєм у [11], Юнгом у [12], Маєвським у [13], Ченом у [14], Урбіола-Сото та Лопезом-Парра у [15]. Перша та останні дві з цих статей включають також експериментальні дослідження. У роботі Юнга [12] міститься декілька чисельних результатів моделювання на основі обчислювальної динаміки рідини.

Слід підкреслити, що вперше зробив спробу теоретично обґрунтувати принцип дії АБП Леблана, кільцевих, маятникових і кульових АБП у циклах своїх статей Сирл. Він запропонував плоску модель ротора і АБП. У її рамках у ротора існує єдина критична швидкість, при перевищенні якої ротор починає обертатися легкою стороною назовні і починає проявлятися явище самоцентрування ротора, яке і було покладено Сирлем в основу принципу роботи усіх пасивних АБП. Насправді, тут явище самоцентрування видається за явище автобалансування рідиною. Підходи і результати робіт Сирла склали основу наступних досліджень в галузі балансування роторів машин пасивними АБП. А отриманий без врахування специфічних властивостей рідини, сил опору, а відтак, теоретично необґрунтований і експериментально неперевірений висновок про обмеженість діапазону працездатності таких автобалансуючих пристроїв закритичною (або резонансною) зоною обертання ротора є суперечливим і до тепер. Отже, залишається необхідним більш детальне пояснення цього явища.

Фізичний зміст балансування рідиною

При відсутності АБП величина дисбалансу системи залишається незмінною за величиною і напрямком, і оскільки існує співвідношення між прогином вала, величиною дисбалансу і кутовою швидкістю обертання:

$$f = e_0 \frac{(\omega / \omega_{кр})^2}{1 - (\omega / \omega_{кр})^2},$$

то, очевидно, що зі збільшенням кутової швидкості ω прогин f постійно збільшується на докритичному режимі обертання вала.

У випадку наявності АБП дисбаланс системи $\bar{e}_C$ складається зі стаціонарного дисбалансу $\bar{e}_0$, створюваного незрівноваженістю вала, і дисбалансу, створюваного рідиною $\bar{e}$. При $\omega = 0$ дисбаланс рідини дорівнює нулю.

У початковий момент обертання незрівноваженість вала приводить до виникнення прогину f , що за напрямком збігається з дисбалансом ротора (рис. 2 а). Відцентрові сили відкидають рідину до стінок АБП і її основна маса концентрується в прогині. При збільшенні швидкості обертання ротора напрямком прогину починає відставати від напрямку дисбалансу на кут δ (при наявності рідини в камері АБП величину кута δ варто відраховувати від сумарного дисбалансу ротора) (рис. 2 б). Рідина прагне зайняти положення в найбільш віддаленій точці від осі обертання, а саме в прогині, і рухається разом з ним від дисбалансу. Це, у свою чергу, призводить до зміни сумарного дисбалансу системи за напрямком і величиною (збільшується, оскільки величина сумарного дисбалансу визначається як геометрична сума векторів $\bar{e}_0$ і $\bar{e}$ і залежить від кута між цими векторами α). Ця зміна призводить до збільшення прогину, а збільшення швидкості обертання приводить до збільшення кута δ . Рідина слідує за прогином, змінює сумарний дисбаланс, збільшуючи кут α і зменшуючи величину сумарного дисбалансу (рис. 2 в), що, у свою чергу, приводить до зменшення величини прогину. Отже, зі збільшенням швидкості обертання внаслідок зменшення $\bar{e}_C$ маємо зменшення прогину за величиною навіть при докритичному режимі обертання ротора.

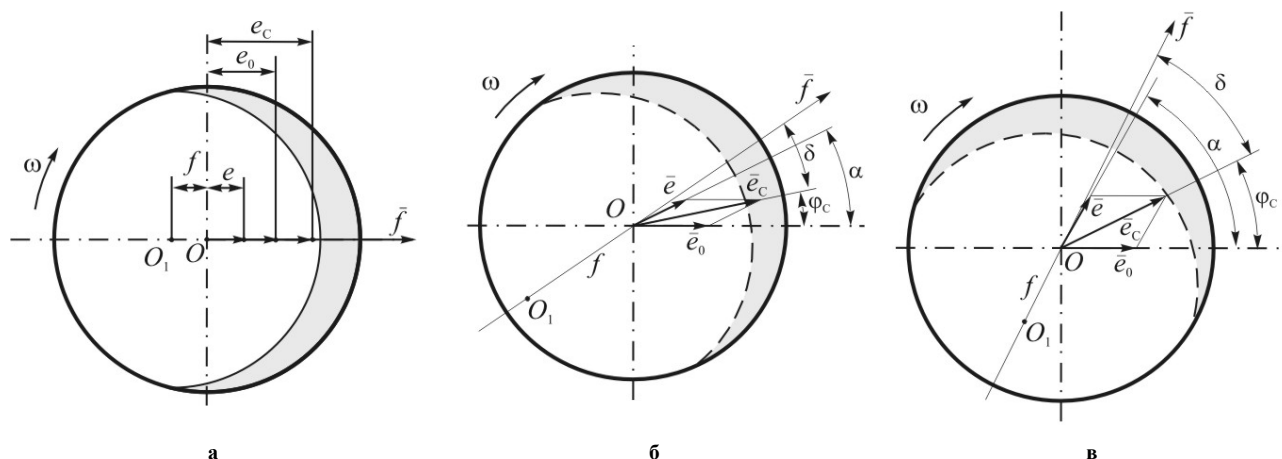


Рис. 2. Векторна модель процесу автобалансування рідиною

Оскільки

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{2n\omega}{\omega_{\text{кр}}^2 - \omega^2},$$

то при наближенні швидкості обертання до критичної δ збільшується і прямує до 90° .

Оскільки δ – кут між прогином і сумарним дисбалансом, а φ_c – кут між стаціонарним і сумарним дисбалансами, то при обертанні ротора з кутовою швидкістю $\omega = \omega_{\text{кр}}$ кут між прогином і стаціонарним дисбалансом дорівнює $90^\circ + \varphi_c$ (рис. 2 г).

У випадку коли стаціонарний дисбаланс і дисбаланс, створюваний рідиною, рівні за величиною $e_0 = e$, то φ_c наближено буде дорівнювати δ (рис. 2 д). А отже кут між прогином і стаціонарним дисбалансом буде прямувати до 180° . Отже, при проходженні резонансної швидкості обертання ротора рідина разом із прогином вала буде зміщена на кут 180° щодо стаціонарного дисбалансу. По цьому буде мати місце автоматичне балансування дисбалансу вала рідиною, що і приведе до істотного зменшення вібрацій ротора.

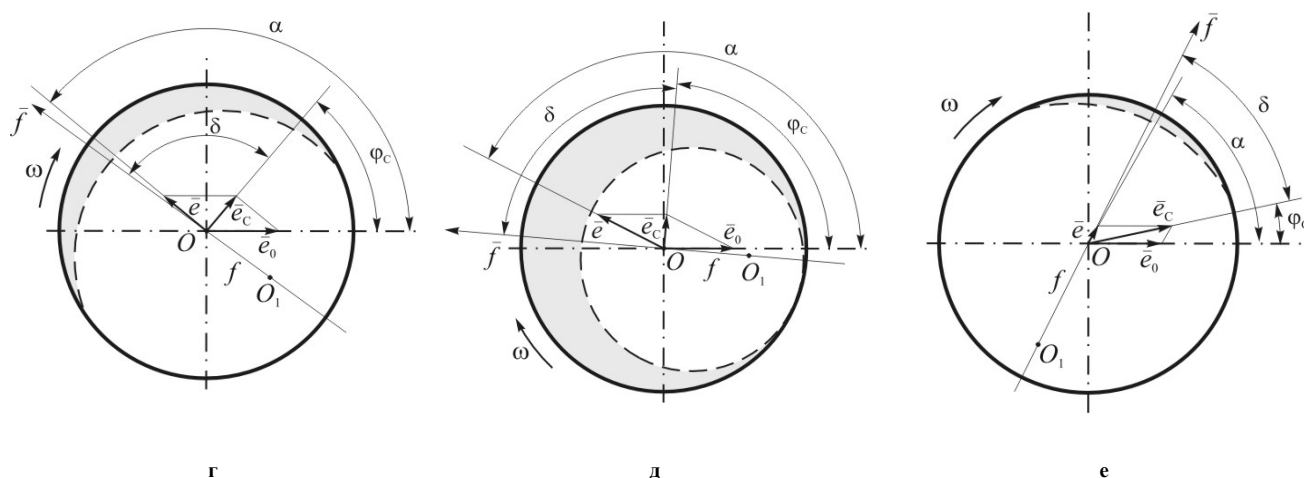


Рис. 2. Векторна модель процесу автобалансування рідиною (продовження)

При подальшому збільшенні кутової швидкості збалансована система повертається, не змінюючи відносного положення рідини і стаціонарного дисбалансу.

При малому дисбалансі, створюваному рідиною $e \ll e_0$, сумарний дисбаланс системи буде в основному визначатися за величиною і напрямком стаціонарним дисбалансом і не буде істотно змінюватися при збільшенні кута δ (рис. 2 е). Отже не буде істотно зменшуватися величина прогину вала, обумовлена сумарним дисбалансом ротора.

Тому кількість рідини, що створює малий дисбаланс у порівнянні зі стаціонарним дисбалансом, буде недостатньою для балансування системи. Збільшити дисбаланс, створюваний рідиною, можна за рахунок збільшення її маси або радіуса камери АБП.

При сталих параметрах АБП збільшуючи масу рідини можна досягти рівності дисбалансів рідини і вала, при якому будемо мати максимальну збалансованість системи. Подальше збільшення маси рідини не буде впливати на створюваний нею дисбаланс, а, отже, і на збалансованість системи, оскільки рідина буде розташовуватися концентрично навколо осі обертання, що у даному випадку вже є головною віссю інерції системи.

Велика маса рідини в АБП може істотно впливати на стійкість її розміщення щодо стаціонарного дисбалансу. Оскільки в силу гідравлічних особливостей рідкого середовища, яке може довільно змінювати свою форму під дією будь-яких малих сил, виникнення випадкових незначних зовнішніх збурювань може істотно вплинути на місце розташування його центра мас, а, отже, змінити стан зрівноваженості системи. Причому, чим більша маса рідини, тим більшою за величиною і напрямком буде зміна вектора її дисбалансу.

Розглянемо більш детально динаміку балансування рідиною.

У багатьох дослідженнях, присвячених динаміці та стабілізації роторів, частково заповнених рідиною, приділяється велика увага динамічним властивостям рідини; хорошими оглядами щодо цих питань є робота Болотіна [16] та Кандалла [17]. Більшість досліджень, таких як роботи Вольфа [18], Хендрікса і Мортон [19] та Холма-Крістенсена та Трегера [20], базуються на лінійній теорії (лінеаризації). Хоча такого підходу цілком достатньо для визначення стійкості руху, але може бути недостатнім для моделювання та розуміння динаміки рідинного балансування (у будь-якому випадку, якщо до розгляду включені вільні (необмежені) компоненти хвилі), оскільки необхідно знати амплітуду поверхневих хвиль.

При проектуванні пасивних рідинних АБП необхідно знати вплив рідини на обертання тіла. Дослідженню обертання зрівноваженого ротора при частковому заповненні камери АБП рідиною присвячені роботи [21, 22]. Гнучкі коливання вала з незрівноваженим диском на ньому вивчаються в [23, 24]. У [25, 26] показано вплив рідини у камері ротора, що обертається, на автоматичне балансування механічної системи без врахування сил опору. У дослідженні [27] розглянуто усталений рух незрівноваженого ротора з рідиною в камері АБП при наявності зовнішнього тертя. Задана умова, що рідина в балансувальній камері при стаціонарному русі обертається разом з ротором як тверде тіло. Визначено, що рідинний АБП зменшує критичну швидкість і максимальне відхилення ротора від осі обертання. У [28] досліджено вплив сили ваги на процес рідинного автобалансування.

Однак, ці висновки не враховують те, що своєрідні гравітаційні хвилі можуть поширюватися в нестисливій рідині, що рівномірно обертається як ціле. Їхнє походження пов'язане з коріолісовими силами, які виникають при обертанні. З метою вивчення стаціонарних збурень відносного руху рідини, що обумовлені об'ємними відцентровою і коріолісовою силами інерції необхідно проаналізувати модель малих збурень потоку, що викликані рівномірним обертанням камери навколо деякої осі, що лежить з її віссю в одній площині [29].

Інерційні хвилі в рідині, що обертається

Розглянемо закриту камеру АБП, що має форму прямого кругового циліндра радіуса R і висотою h , частково заповнену ідеальною нестисливою рідиною густини ρ ($\rho = \text{const}$). Нехай при відсутності об'ємних сил рідина здійснює усталений круговий рух і розташовується в камері у вигляді кільцевого шару, що має товщину $R - R_0$. У безрозмірних циліндричних координатах $\eta = r/R$, φ , $\zeta = z/R$ рівності

$$\bar{V}_0 = (0, v_0(\eta), 0), \quad p_0 = p_0^0 + \int_{\eta_0}^{\eta} \frac{v_0^2(x)}{x} dx, \quad \eta = \eta_0 \left(\eta_0 = \frac{R_0}{R} \right) \quad (1)$$

є відповідно виразами для безрозмірних швидкості потоку, тиску і рівняння вільної поверхні при довільно заданих функції $v_0(\eta)$ і величині p_0^0 .

Нехай камера здійснює обертання зі сталою кутовою швидкістю $\bar{\Omega} = -i\Omega$ навколо деякої осі z' , що лежить з віссю камери z в одній площині і складає з нею кут α ($-\pi/2 \leq \alpha \leq \pi/2$). Задача полягає у вивченні стаціонарних збурень відносного руху рідини, обумовлених об'ємними переносною і коріолісовою силами інерції. Ця задача виникає в ході дослідження роботи рідинного АБП.

Рівняння Ейлера і нестисливості можна подати у формі

$$\text{grad} \left(p + \frac{V^2}{2} \right) + \text{rot} \bar{V} \times \bar{V} = -\varepsilon \bar{W}_e - \varepsilon \bar{W}_c, \quad \text{div} \bar{V} = 0 \quad (2)$$

$$\bar{W}_e = \frac{1}{\Omega^2 R_1} \bar{\Omega} \times (\bar{\Omega} \times \bar{R}_1) = -\frac{\bar{R}_1}{R_1} = (\cos \alpha \cos \varphi, -\cos \alpha \sin \varphi, -\sin \alpha) \quad (3)$$

$$\bar{W}_c = \frac{1}{2\Omega V_*} 2\bar{\Omega} \times (V_* \bar{V}) = -\bar{i} \times \bar{V} = (w \sin \alpha \sin \varphi + v \cos \alpha, w \sin \alpha \cos \varphi - u \cos \alpha, -\sin \alpha (v \cos \varphi + u \sin \varphi)) \quad (4)$$

де $\varepsilon = \frac{\Omega^2 R_1 R}{V_*^2}$, $\varepsilon c = \frac{2\Omega V_* R}{V_*^2}$. Тут $\bar{V} = (u, v, w)$ – швидкість рідини відносно камери АБП; p – тиск; $\bar{W}_e$,

$\bar{W}_c$ – переносне та коріолісове прискорення; V_* – масштаб швидкості – максимальне значення модуля колової швидкості рідини. Параметр ε будемо вважати малим, що відповідає співвідношенням, які є характерними для пристроїв, що вивчаються. Подамо рівняння вільної поверхні у вигляді $F(\eta, \varphi, \zeta) = \eta - \varphi(\varphi, \zeta) = 0$ і запишемо граничні умови задачі, а також умови періодичності шуканих величин за кутовою координатою φ і умови незмінності об'єму, що займає рідина

$$u \Big|_{\eta=1} = 0, \quad w \Big|_{\zeta=\pm \frac{h}{2R}} = 0, \quad (\bar{V} \text{grad} F)_{F=0} = 0, \quad p \Big|_{F=0} = p_0^0, \quad [\bar{V}, p, \psi]_{\varphi+2\pi} - [\bar{V}, p, \psi]_{\varphi} = 0, \\ \frac{1}{2} \int_{-\frac{h}{2R}}^{\frac{h}{2R}} \int_0^{2\pi} \psi^2(\varphi, \zeta) d\varphi d\zeta = \pi \eta_0^2 \frac{h}{R}. \quad (5)$$

Розв'язок задачі (1)–(5), що належить до класу обернених крайових задач, будемо шукати у вигляді рядів за степенями малого параметра ε

$$\bar{V} = \bar{V}_0 + \varepsilon \bar{V}_1 + \dots, \quad p = p_0 + \varepsilon p_1 + \dots, \quad F = \eta - \psi_0(\varphi, \zeta) - \varepsilon \psi_1(\varphi, \zeta) - \dots = 0. \quad (6)$$

Підстановка виразів (6) у рівняння (2) і умови (5) приводить до таких співвідношень для послідовного знаходження початкового і першого наближень до розв'язку задачі

$$\text{grad} \left(p_0 + \frac{V_0^2}{2} \right) + \text{rot} \bar{V}_0 \times \bar{V}_0 = 0, \quad \text{div} \bar{V}_0 = 0 \\ u_0 \Big|_{\eta=1} = 0, \quad w_0 \Big|_{\zeta=\pm \frac{h}{2R}} = 0, \\ (\bar{V}_0 \text{grad} F_0)_{F_0=0} = 0, \quad (F_0 = \eta - \psi_0(\varphi, \zeta)), \quad p_0 \Big|_{F_0=0} = p_0^0, \\ [\bar{V}_0, p_0, \psi_0]_{\varphi+2\pi} - [\bar{V}_0, p_0, \psi_0]_{\varphi} = 0, \quad \frac{1}{2} \int_{-\frac{h}{2R}}^{\frac{h}{2R}} \int_0^{2\pi} \psi_0^2(\varphi, \zeta) d\varphi d\zeta = \pi \eta_0^2 \frac{h}{R}. \\ \text{grad}(p_1 + \bar{V}_0 \bar{V}_1) + \text{rot} \bar{V}_0 \times \bar{V}_1 + \text{rot} \bar{V}_1 \times \bar{V}_0 = -\bar{W}_e + c\bar{i} \times \bar{V}_0, \quad \text{div} \bar{V}_1 = 0 \\ u_1 \Big|_{\eta=1} = 0, \quad w_1 \Big|_{\zeta=\pm \frac{h}{2R}} = 0, \quad \left[\frac{\partial p_0}{\partial \eta} \psi_1(\varphi, \zeta) + p_1 \right]_{F_0=0} = 0, \\ \left[\psi_1(\varphi, \zeta) \frac{\partial}{\partial \eta} (\bar{V}_0 \text{grad} F_0) + \bar{V}_1 \text{grad} F_0 - \bar{V}_0 \text{grad} \psi_1(\varphi, \zeta) \right]_{F_0=0} = 0, \quad [\bar{V}_1, p_1, \psi_1]_{\varphi+2\pi} - [\bar{V}_1, p_1, \psi_1]_{\varphi} = 0, \quad (8) \\ \int_{-\frac{h}{2R}}^{\frac{h}{2R}} \int_0^{2\pi} \psi_0(\varphi, \zeta) \psi_1(\varphi, \zeta) d\varphi d\zeta = 0.$$

Вирази (1) є розв'язками задачі (7). При врахуванні виразів (1), рівностей (9)

$$\psi_0(\varphi, \zeta) = \eta_0, \quad F_0 = \eta - \eta_0 \quad (9)$$

і одержаної за допомогою формули (4) рівності $\bar{i} \times \bar{V}_0 = v_0(\eta)(-\cos \alpha, 0, \sin \alpha \cos \varphi)$ співвідношення (8) для знаходження першого наближення можна записати у формі (штрихом позначено диференціювання по η)

$$\frac{v_0(\eta)}{\eta} \left(\frac{\partial u_1}{\partial \varphi} - 2v_1 \right) + \frac{\partial p_1}{\partial \eta} = -\cos \alpha \cos \varphi + 0 - \frac{2V^*}{\Omega R_1} v_0(\eta) \cos \alpha + 0 \\ \frac{v_0(\eta)}{\eta} \frac{\partial v_1}{\partial \varphi} + \frac{[\eta v_0(\eta)]'}{\eta} u_1 + \frac{1}{\eta} \frac{\partial p_1}{\partial \varphi} = \cos \alpha \sin \varphi + 0 + 0 + 0 \quad (10)$$

$$\frac{v_0(\eta)}{\eta} \frac{\partial w_1}{\partial \varphi} + \frac{\partial p_1}{\partial \zeta} = 0 + \sin \alpha + 0 + \frac{2V^*}{\Omega R_1} v_0(\eta) \sin \alpha \cos \varphi \\ \frac{\partial(\eta u_1)}{\partial \eta} + \frac{\partial v_1}{\partial \varphi} + \eta \frac{\partial w_1}{\partial \zeta} = 0 \quad (11)$$

$$u_1 \Big|_{\eta=1} = 0, \quad w_1 \Big|_{\zeta=\pm \frac{h}{2R}} = 0, \quad u_1 \Big|_{\eta=\eta_0} = \frac{v_0(\eta_0)}{\eta_0} \frac{\partial \psi_1}{\partial \varphi}, \quad p_1 \Big|_{\eta=\eta_0} = -\frac{v_0^2(\eta_0)}{\eta_0} \psi_1$$

$$\left[\bar{V}_1, p_1, \psi_1 \right]_{\varphi+2\pi} - \left[\bar{V}_1, p_1, \psi_1 \right]_{\varphi} = 0, \quad \int_{-\frac{h}{2R}}^{\frac{h}{2R}} \int_0^{2\pi} \psi_1 d\varphi d\zeta = 0. \quad (12)$$

Лінійність задачі (10)–(12) дозволяє розбити її на чотири незалежні задачі, які відповідають збуренням потоку різними складовими сил інерції у відносному русі. Розглянемо вплив сил інерції Коріоліса.

1. Збурення руху радіальною складовою сили інерції Коріоліса. Ця задача полягає в розв'язанні за умов (12) рівняння (11) і рівнянь (13)

$$\begin{aligned} \frac{v_0(\eta)}{\eta} \left(\frac{\partial u_1}{\partial \varphi} - 2v_1 \right) + \frac{\partial p_1}{\partial \eta} &= -\frac{2V^*}{\Omega R_1} v_0(\eta) \cos \alpha \\ \frac{v_0(\eta)}{\eta} \frac{\partial v_1}{\partial \varphi} + \frac{[\eta v_0(\eta)]'}{\eta} u_1 + \frac{1}{\eta} \frac{\partial p_1}{\partial \varphi} &= 0 \\ \frac{v_0(\eta)}{\eta} \frac{\partial w_1}{\partial \varphi} + \frac{\partial p_1}{\partial \zeta} &= 0 \end{aligned} \quad (13)$$

Враховуючи, що дана задача осесиметрична і вважаючи, що $(\eta v_0)' \neq 0$, одержимо з рівностей (13), (11) і (12)

$$u_1=w_1=0, \quad \psi_1=0; \quad \frac{\partial p_1}{\partial \eta} = -\frac{2V^*}{\Omega R_1} v_0(\eta) \cos \alpha + \frac{2v_0(\eta)}{\eta} v_1, \quad \frac{\partial p_1}{\partial \zeta} = 0, \quad \frac{\partial p_1}{\partial \varphi} = -v_0(\eta) \frac{\partial v_1}{\partial \varphi}; \quad p_1 \Big|_{\eta=\eta_0} = 0.$$

Звідки одержимо

$$\bar{V}_1 = 0, \quad \psi_1 = 0, \quad p_1 = -\frac{2V^*}{\Omega R_1} \cos \alpha \int_{\eta_0}^{\eta} v_0(x) dx. \quad (14)$$

Таким чином, радіальна складова сили Коріоліса не призводить до змін у розташуванні і форми циліндричного «повітряного стовпа» (вільної поверхні рідини) і до збурення поля швидкостей, викликаючи лише збурення поля тисків, що не залежить від координат φ і ζ , що цілком збігається з результатами, одержаними в [30] при дослідженні інерційних хвиль у рідині, що обертається.

2. Збурення руху осовою складовою сили інерції Коріоліса. Ця задача полягає в розв'язанні при умовах (12) рівняння (11) і рівнянь (15)

$$\begin{aligned} \frac{v_0(\eta)}{\eta} \left(\frac{\partial u_1}{\partial \varphi} - 2v_1 \right) + \frac{\partial p_1}{\partial \eta} &= 0 \\ \frac{v_0(\eta)}{\eta} \frac{\partial v_1}{\partial \varphi} + \frac{[\eta v_0(\eta)]'}{\eta} u_1 + \frac{1}{\eta} \frac{\partial p_1}{\partial \varphi} &= 0 \\ \frac{v_0(\eta)}{\eta} \frac{\partial w_1}{\partial \varphi} + \frac{\partial p_1}{\partial \zeta} &= \frac{2V^*}{\Omega R_1} v_0(\eta) \sin \alpha \cos \varphi \end{aligned} \quad (15)$$

Розглядувана задача значно складніша за попередню, оскільки виникають тут збурення є неплоскими і неосесиметричними.

Підстановка

$$u_1 = U(\eta, \zeta) \sin \varphi, \quad v_1 = V(\eta, \zeta) \cos \varphi, \quad w_1 = W(\eta, \zeta) \sin \varphi, \quad p_1 = P(\eta, \zeta) \cos \varphi, \quad \psi_1 = \Psi(\zeta) \cos \varphi, \quad (16)$$

де U, V, W, P і Ψ – невідомі функції від η і ζ , дозволяє виключити змінну φ з рівнянь і граничних умов. Маємо

$$\frac{v_0}{\eta} (U - 2V) + \frac{\partial P}{\partial \eta} = 0, \quad -v_0 V + (\eta v_0)' U - P = 0, \quad \frac{v_0}{\eta} W + \frac{\partial P}{\partial \zeta} = \frac{2V^*}{\Omega R_1} v_0 \sin \alpha, \quad \frac{\partial(\eta U)}{\partial \eta} - V + \eta \frac{\partial W}{\partial \zeta} = 0. \quad (17)$$

$$U \Big|_{\eta=1} = 0, \quad W \Big|_{\zeta=\pm \frac{h}{2R}} = 0, \quad U \Big|_{\eta=\eta_0} = -\frac{v_0(\eta_0)}{\eta_0} \Psi, \quad P \Big|_{\eta=\eta_0} = -\frac{v_0^2(\eta_0)}{\eta_0} \Psi. \quad (18)$$

Нехай $v_0 \neq \frac{D}{\sqrt{\eta}}$, де D – стала. Систему рівнянь (17) можна звести до одного лінійного

диференціального рівняння і частинних похідних другого порядку для функції $P = P(\eta, \zeta)$

$$\eta^2 \frac{\partial^2 P}{\partial \eta^2} + \eta a(\eta) \frac{\partial P}{\partial \eta} - b(\eta) P - \eta^2 d(\eta) \frac{\partial^2 P}{\partial \zeta^2} = 0$$

$$a(\eta) = \frac{3v_0^2 + 2\eta v_0' - 2\eta^2 v_0'' - 2\eta^2 (v_0')^2}{v_0(2\eta v_0' + v_0)}, \quad b(\eta) = \frac{4\eta^2 v_0'' + 4\eta v_0' - v_0}{2\eta v_0' + v_0}, \quad d(\eta) = \frac{2\eta v_0' + v_0}{v_0} \quad (19)$$

Використовуючи умови (18) і рівняння (17), знайдемо граничні умови, яким повинна задовольняти функція P

$$\eta_0 v_0(\eta_0) \frac{\partial P}{\partial \eta} \Big|_{\eta=\eta_0} + [v_0(\eta_0) - 2\eta_0 v_0'(\eta_0)] P \Big|_{\eta=\eta_0} = 0, \quad \left(\frac{\partial P}{\partial \eta} + 2P \right)_{\eta=1} = 0, \quad \frac{\partial P}{\partial \zeta} \Big|_{\zeta=\pm \frac{h}{2R}} = \pm \frac{h}{2R} = \frac{2V_*}{\Omega R_1} v_0(\eta) \sin \alpha. \quad (20)$$

Зауважимо, що коефіцієнти $a(\eta)$, $b(\eta)$ і $d(\eta)$ перетворюються в константи, якщо $v_0 = B\eta^\gamma$, де B і γ - сталі. Для спрощення прийемо $v_0(\eta) = \eta^\gamma$. Функції v_0 такого виду дозволяють охопити достатньо широкий клас практично важливих випадків, у тому числі випадок рідини, що квазіжорстко обертається, якому відповідає значення $\gamma = 1$.

В результаті підстановки $v_0 = \eta^\gamma$ в рівняння (19) і умови (20) маємо крайову задачу

$$\eta^2 \frac{\partial^2 P}{\partial \eta^2} + (3 - 2\gamma) \eta \frac{\partial P}{\partial \eta} - (2\gamma - 1)P - (2\gamma + 1)\eta^2 \frac{\partial^2 P}{\partial \zeta^2} = 0, \quad (\gamma \neq 1/2)$$

$$\left[(2\gamma - 1)P - \eta_0 \frac{\partial P}{\partial \eta} \right]_{\eta=\eta_0} = 0, \quad \left(\frac{\partial P}{\partial \eta} + 2P \right)_{\eta=1} = 0, \quad \frac{\partial P}{\partial \zeta} \Big|_{\zeta=\pm \frac{h}{2R}} = \pm \frac{h}{2R} = \frac{2V_*}{\Omega R_1} \eta^\gamma \sin \alpha$$

зв'язану з рівнянням гіперболічного (при $\gamma > 1/2$) або еліптичного (при $\gamma < 1/2$) типу. При розділенні змінних вважатимемо $P(\eta, \zeta) = S(\eta)Z(\zeta)$ і позначивши через μ^2 сталу розділення, прийдемо до регулярної задачі Штурма-Ліувілля з умовами

$$(\eta^{3-2\gamma} S')' + [\mu^2 \eta^{3-2\gamma} - (2\gamma - 1)\eta^{1-2\gamma}] S = 0, \quad S'(\eta_0) - \frac{(2\gamma - 1)S(\eta_0)}{\eta_0} = 0, \quad S'(1) + 2S(1) = 0$$

$$\text{і рівнянням } \frac{d^2 Z}{d\zeta^2} + \frac{\mu^2}{2\gamma + 1} Z = 0.$$

Застосуємо метод Фур'є і прийдемо до розв'язку задачі у вигляді

$$\begin{aligned} u_1 &= \frac{A}{2\gamma + 1} \sin \varphi \sum_{n=1}^{\infty} \theta_n \left[\mu_n H_{\gamma-1, \gamma}(\mu_n, \mu_n \eta) + \frac{1}{\eta} H_{\gamma, \gamma}(\mu_n, \mu_n \eta) \right] Z_n^{(s)}(\zeta), \\ v_1 &= \frac{A}{2\gamma + 1} \cos \varphi \sum_{n=1}^{\infty} \theta_n \left[(\gamma + 1) \mu_n H_{\gamma-1, \gamma}(\mu_n, \mu_n \eta) - \frac{\gamma}{\eta} H_{\gamma, \gamma}(\mu_n, \mu_n \eta) \right] Z_n^{(s)}(\zeta), \\ w_1 &= \frac{A}{2} \sin \varphi \left[\eta - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{|\lambda_{n, \gamma}|} \theta_n H_{\gamma, \gamma}(\mu_n, \mu_n \eta) Z_n^{(c)}(\zeta) \right], \\ p_1 &= A \eta^{\gamma-1} \cos \varphi \sum_{n=1}^{\infty} \theta_n H_{\gamma, \gamma}(\mu_n, \mu_n \eta) Z_n^{(s)}(\zeta), \quad \psi_1 = -A \eta_0^{-\gamma} \cos \varphi \sum_{n=1}^{\infty} \theta_n H_{\gamma, \gamma}(\mu_n, \mu_n \eta) Z_n^{(s)}(\zeta) \end{aligned} \quad (21)$$

де μ_n - корені рівняння $H_{\gamma+1, \gamma}(\mu, \mu \eta_0) = 0$ пронумеровані у порядку зростання власних значень μ_n^2 ; $H_{q, s}(\mu, \mu \eta) = [Y_s(\mu) + \mu Y_{s-1}(\mu)] J_q(\mu \eta) - [J_s(\mu) + \mu J_{s-1}(\mu)] Y_q(\mu \eta)$, причому $J_r(x)$ і $Y_r(x)$ функції Бесселя першого і другого роду порядку r ;

$$\begin{aligned} Z_n^{(s)}(\zeta) &= \begin{cases} \sin \sqrt{\lambda_{n, \gamma}} \zeta, & \lambda_{n, \gamma} > 0 \\ \text{sh} \sqrt{-\lambda_{n, \gamma}} \zeta, & \lambda_{n, \gamma} < 0 \end{cases}, \quad Z_n^{(c)}(\zeta) = \begin{cases} \cos \sqrt{\lambda_{n, \gamma}} \zeta, & \lambda_{n, \gamma} > 0 \\ \text{ch} \sqrt{-\lambda_{n, \gamma}} \zeta, & \lambda_{n, \gamma} < 0 \end{cases}, \\ \theta_n &= \frac{\int_{\eta_0}^1 \eta^2 H_{\gamma, \gamma}(\mu_n, \mu_n \eta) d\eta}{\sqrt{|\lambda_{n, \gamma}|} Z_n^{(c)} \left(\frac{2V_*}{\Omega R_1} \right) \left[\left(1 + \frac{1}{\lambda_{n, \gamma}} \right) H_{\gamma, \gamma}^2(\mu_n, \mu_n) - \eta_0^2 H_{\gamma, \gamma}(\mu_n, \mu_n \eta_0) \right]}, \quad \lambda_{n, \gamma} = \frac{\mu_n^2}{2\gamma + 1}, \quad A = \frac{4V_* \sin \alpha}{\Omega R_1} \end{aligned} \quad (22)$$

Проаналізуємо розв'язок (21). Рівняння вільної поверхні, викривленої в результаті дії збурення, що вивчається, відповідно до (6) і (9) має вигляд

$$\eta = \eta_0 + \varepsilon N(\zeta) \cos \varphi, \left(N(\zeta) = -A \eta_0^{-\gamma} \sum_{n=1}^{\infty} \theta_n H_{\gamma, \gamma}(\mu_n, \mu_n \eta) Z_n^{(s)}(\zeta) \right). \quad (23)$$

Отже, всі перетини $\zeta = \text{const}$ викривленої вільної поверхні залишаються з розглядуваною точністю колами радіуса η_0 , а осьова лінія поверхні є кривою $x = \varepsilon N(\zeta)$, що лежить в площині zz' .

Зауважимо, що при виконанні нерівності $\frac{\mu_n^2}{2\gamma+1} > 0$ і співвідношення

$$\sqrt{\frac{\mu_n^2}{2\gamma+1}} \frac{h}{2R} = \frac{\pi}{2} (2k+1) \quad (k=0, 1, 2, \dots) \quad (24)$$

маємо $Z_n^{(c)}\left(\frac{h}{2R}\right) = \cos \sqrt{\frac{\mu_n^2}{2\gamma+1}} \frac{h}{2R} = 0$, тому n -і члени усіх рядів в розв'язку (21) перетворюються на безмежність. Оскільки числа μ_n^2 відповідно до $H_{\gamma+1, \gamma}(\mu, \mu \eta_0) = 0$ залежать тільки від параметрів η_0 і γ , то рівність (24) встановлює при фіксованому γ для кожного номера n і числа k деяку залежність між геометричними параметрами η_0 і $\frac{h}{2R}$. Назвемо сукупність цих залежностей резонансними

співвідношеннями. Відмітимо, що характер збурюваної дії дає підстави визначити, що тут дійсно має місце явище резонансу при вимушених коливаннях шару рідини, що обертається. Природно, що перетворення шуканих величин у безмежність при виконанні резонансних співвідношень пов'язано лише із застосуванням моделі ідеальної рідини. При використанні моделі в'язкої рідини збурення при резонансах мали б скінченні значення. В околах резонансів вийшло б лише зростання збурень, найбільш яскраво виражене тільки для резонансів «низьких порядків», тобто тих, які відповідають невеликим значенням n . Розглядувані резонансні явища мають ту особливість, що умови їх виникнення при заданому характері розподілу колових швидкостей в незбурюваному русі визначаються співвідношеннями тільки між геометричними параметрами системи – висотою камери, її радіусом і радіусом вільної поверхні і не залежить ні від інтенсивності обертання рідини, ні від її густини. Розглянуті хвилі називають інерційними. Оскільки коріолісові сили не роблять роботи над рідиною, яка рухається, енергія, що міститься в цих хвилях, цілком кінетична.

Зауважимо, що при $\alpha=0$, тобто коли вісь камери паралельна осі, навколо якої вона обертається (саме при автобалансуванні) осьова складова сили Коріоліса відсутня і резонансні явища рідини неможливі.

Висновки

У роботі досліджується явище автобалансування роторів машин рідинними автобалансирами, які мають вигляд циліндричної камери, частково заповненої робочою рідиною. Надано фізичне пояснення роботи такого автобалансуючого пристрою для вертикального ротора, яке обґрунтовує експериментально відкрите явище самобалансування рідиною на дорезонансних і всіх інших режимах обертання ротора. Розроблене фізичне пояснення автоматичного балансування рідиною роторів з вертикальною віссю обертання відрізняється від існуючих положень врахуванням гідравлічних властивостей рідини і демпфування системи.

Також досліджено вплив коріолісових і відцентрових сил інерції, які виникають при обертанні і викликають своєрідні гравітаційні хвилі, що поширюються в нестисливій рідині.

Показано, що осьова складова сили інерції Коріоліса може викликати в потоці своєрідні резонансні явища, умови виникнення яких визначаються при заданому характері незбурюваного руху тільки розмірами камери і товщиною шару рідини в незбурюваному потоці і не залежать ні від інтенсивності обертання рідини, ні від її густини. У процесі автобалансування (коли $\alpha=0$) осьова складова сили Коріоліса відсутня і резонансні явища рідини неможливі. Радіальна складова сили інерції Коріоліса не призводить до змін в розташуванні і формі вільної поверхні рідини та й до збурення поля швидкостей, викликаючи лише збурення поля тисків, що не залежить від координат вільної поверхні. Ці результати необхідно враховувати під час конструювання та налагодження відповідних пристроїв.

Література

1. Никифоров А.Н. Состояние проблемы уравнивания роторов / А.Н. Никифоров // Вестник научно-технического развития. – 2013. – № 4 (68). – С. 20–28.
2. Pat. US 9663889 B2. Republic of Korea. Laundry treating apparatus / Keunjoo Kim, Jinwoong Kim, Seungchul Park ; owner name: Lg Electronics Inc. [Електронний ресурс]. – заявл. 19.02.2015 ; опубл. 30.05.2017. Бюл. № US 14/626,420. – Режим доступу : <http://www.google.com/patents/US9663889> (may 30, 2017).
3. Pat. EP 3085827 A1. Republic of Korea. Balancing unit and laundry treatment apparatus / Keunjoo Kim, Jinwoong Kim, Seungchul Park ; owner name: Lg Electronics Inc. [Електронний ресурс]. – заявл. 11.02.2014 ; опубл. 26.05.2016. Бюл. № US EP20160165454. – Режим доступу : <http://www.google.com/patents/EP3085827A1?cl=en> (may 26, 2016).

4. Pat. US 20120144598 A1. Republic of Korea. Laundry treating appliance with balancing system / Stephen D. Ostidiek., Vishal Verma ; owner name: Whirlpool Corporation [Електронний ресурс]. – заявл. 08.12.2010 ; опубл. 14.06.2012, Бюл. № US EP20160165454. – Режим доступу : <http://www.google.com/patents/US20120144598> (June 14, 2012).
5. Pat. No. 1,209,730 U. S. Automatic balancer for rotating bodies / Leblanc M. Application Filed July 23, 1912- Patented Dec. 26, 1916 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.google.com/patents/US1209730> (Dec. 26, 1916).
6. Thearle E.L. A new type of dynamic-balancing machine / E.L. Thearle. – Trans. ASME. – 54. – 1932. – P. 131–141.
7. Den Hartog J.P. Mechanical Vibrations. Dover Publications, Inc. [Orig. 4th Ed. by McGraw-Hill 1956], New York. – 1985.
8. Pat. No. 2,375,635 U. S. Domestic appliance / Dyer J.B. – Original Assignee Motors Liquidation Co – Priority date 1940-06-29; Grant 1945-05-08; Pub Number US2375635A [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.google.com/patents/US2375635> (May 08, 1945).
9. Kasahara M. Experiments of liquid motion in a whirling ring / M. Kasahara, S. Kaneko, K. Oshita, H. Ishii // In Proceedings of the Dynamics and Design Conference 2000, 5–8 August 2000, Tokyo, Japan. Japan Soc. Mech. Eng. P. 1–6.
10. Nakamura T. Study on the improvement of the fluid balancer of washing machines / T. Nakamura // In Proceedings of the 13th Asia-Pacific Vibrations Conference, 22–25 November 2009, University of Canterbury, New Zealand. – P. 1–8.
11. Bae, S. Dynamic analysis of an automatic washing machine with a hydraulic balancer / S. Bae, J. M. Lee, Y. J. Kang, J. S. Kang, J. R. Yun // J. Sound Vib. – 2002. – Vol. 257. – P. 3–18.
12. Jung C.H. A dynamic model and numerical study on the liquid balancer used in an automatic washing machine / C.H. Jung, C.S. Kim, Y.H. Choi // Journal of Mechanical Science and Technology. – 2008. – Vol. 22. – P. 1843–1852.
13. Majewski T. Fluid balancer for a washing machine / T. Majewski // In Proceedings of the XVI International Congress 2010. – P. 1–10. – (SOMIM – Society of Mechanical Engineers of Mexico).
14. Chen H.-W. Study on steady-state response of a vertical axis automatic washing machine with a hydraulic balancer using a new approach and a method for getting a smaller deflection angle / H.-W. Chen, Q. Zhang, S.-Y. Fan // J. Sound Vib. – 2011. – Vol. 330. – P. 2017–2030.
15. Urbiola-Soto L., Lopez-Parra M. Dynamic performance of the Leblanc balancer for automatic washing machines / L. Urbiola-Soto, M. Lopez-Parra // J. Vibr. Acoust. – 2011. – Vol. 133. – 041014-1-041014-8.
16. Bolotin V.V. Nonconservative Problems of the Theory of Elastic Stability / Bolotin, V.V. – Pergamon Press, Oxford, UK, 1963.
17. Crandall S.H. Rotor dynamics / W. Kliemann // Nonlinear Dynamics and Stochastic Mechanics / W. Kliemann, N. S. Namachivaya, editors. – CRC Press, Boca Raton, 1995. – P. 1–44.
18. Wolf Jr. Whirl dynamics of a rotor partially filled with liquid / Jr. Wolf // J. Appl. Mech. – 1968. – Vol. 35. – P. 676–682.
19. Hendricks S.L. Stability of a rotor partially filled with a viscous incompressible fluid / S.L. Hendricks, J.B. Morton // J. Appl. Mech. – 1979. – Vol. 46. – P. 913–918.
20. Holm-Christensen O. A note on rotor instability caused by liquid motions / O. Holm-Christensen, K. Traäger // J. Appl. Mech. – 1991. – Vol. 58. – P. 804–811.
21. Епишев Л.О. О динамической неустойчивости вращающегося ротора при неполном наливке жидкости / Л.О. Епишев // Научн. докл. высш. школы. Машиностроение и приборостроение. – 1959. – № 2. – С. 66–74.
22. Дерендяев Н.В. Об устойчивости стационарного вращения цилиндра, частично заполненного вязкой несжимаемой жидкостью / Н.В. Дерендяев, В.М. Сандалов // Прикладная математика и механика. – 1982. – Т. 46, вып. 4. – С. 578–586.
23. Диментберг Ф.М. Изгибные колебания вращающихся валов / Ф.М. Диментберг. – М. : Изд-во АН СССР, 1959. – 246 с.
24. Рубановский В.Н. Устойчивость стационарных движений в примерах и задачах / В.Н. Рубановский, В.А. Самсонов. – М. : Наука, 1988. – 304 с.
25. Гусаров А.А. Автобалансирующие устройства прямого действия / А.А. Гусаров. – М. : Наука, 2002. – 119 с.
26. Нестеренко В.П. Автоматическая балансировка роторов и машин со многими степенями свободы / В.П. Нестеренко. – Томск : Изд-во Том.ун-та, 1985. – 85 с.
27. Дубовик В.А. Стационарное вращение неуравновешенного ротора с жидкостным автобалансирующим устройством при действии сил внешнего трения / В.А. Дубовик, Е.Н. Пашков // Известия Том. политехн. ун-та, 2006. – Т. 308, № 4. – С. 145–147.
28. Pashkov E. Evaluation of Gravitational Force Effect on Balancing Processes in Liquid-Type Autobalancing Devices / E. N. Pashkov, N. V. Martyushev, I. A. Masson // Advanced Materials Research : Scientific Journal. – 2014. – Vol. 1040 : High Technology: Research and Applications 2014 (HTRA 2014). – P. 642–649.

29. Блехман Л.И. Инерциальные возмущения полого вихря, заключенного в цилиндрический сосуд / Л.И. Блехман // Механика жидкости и газа. – 1978. – № 4. – С. 28–38.
30. Ландау Л.Д. Гидродинамика. Теоретическая физика : т. VI / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – 3-е изд., перераб. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 736 с.

References

1. Nikiforov A.N. Sostoyanie problemy uravnoveshivaniya rotorov / A.N. Nikiforov // Vestnik nauchno-tehnicheskogo razvitiya. – 2013. – № 4 (68). – С. 20–28.
2. Pat. US 9663889 B2. Republic of Korea. Laundry treating apparatus / Keunjoo Kim, Jinwoong Kim, Seungchul Park ; owner name: Lg Electronics Inc. [Elektronnyi resurs]. – zaiavl. 19.02.2015 ; opubl. 30.05.2017. Biul. № US 14/626,420. – Rezhym dostupu : <http://www.google.com/patents/US9663889> (may 30, 2017).
3. Pat. EP 3085827 A1. Republic of Korea. Balancing unit and laundry treatment apparatus / Keunjoo Kim, Jinwoong Kim, Seungchul Park ; owner name: Lg Electronics Inc. [Elektronnyi resurs]. – zaiavl. 11.02.2014 ; opubl. 26.05.2016. Biul. № US EP20160165454. – Rezhym dostupu : <http://www.google.com/patents/EP3085827A1?cl=en> (may 26, 2016).
4. Pat. US 20120144598 A1. Republic of Korea. Laundry treating appliance with balancing system / Stephen D. Ostdiek., Vishal Verma ; owner name: Whirlpool Corporation [Elektronnyi resurs]. – zaiavl. 08.12.2010 ; opubl. 14.06.2012, Biul. № US EP20160165454. – Rezhym dostupu : <http://www.google.com/patents/US20120144598> (June 14, 2012).
5. Pat. No. 1,209,730 U. S. Automatic balancer for rotating bodies / Leblanc M. Application Filed July 23, 1912- Patented Dec. 26, 1916 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.google.com/patents/US1209730> (Dec. 26, 1916).
6. Thearle E.L. A new type of dynamic-balancing machine / E.L. Thearle. – Trans. ASME. – 54. – 1932. – P. 131–141.
7. Den Hartog J.R. Mechanical Vibrations. Dover Publications, Inc. [Orig. 4th Ed. by McGraw-Hill 1956], New York. – 1985.
8. Pat. No. 2,375,635 U. S. Domestic appliance / Dyer J.B. – Original Assignee Motors Liquidation Co – Priority date 1940-06-29; Grant 1945-05-08; Pub Number US2375635A [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.google.com/patents/US2375635> (May 08, 1945).
9. Kasahara M. Experiments of liquid motion in a whirling ring / M. Kasahara, S. Kaneko, K. Oshita, H. Ishii // In Proceedings of the Dynamics and Design Conference 2000, 5–8 August 2000, Tokyo, Japan. Japan Soc. Mech. Eng. R. 1–6.
10. Nakamura T. Study on the improvement of the fluid balancer of washing machines / T. Nakamura // In Proceedings of the 13th Asia-Pacific Vibrations Conference, 22–25 November 2009, University of Canterbury, New Zealand. – R. 1–8.
11. Bae, S. Dynamic analysis of an automatic washing machine with a hydraulic balancer / S. Bae, J. M. Lee, Y. J. Kang, J. S. Kang, J. R. Yun // J. Sound Vib. – 2002. – Vol. 257. – P. 3–18.
12. Jung C.H. A dynamic model and numerical study on the liquid balancer used in an automatic washing machine / C.H. Jung, C.S. Kim, Y.H. Choi // Journal of Mechanical Science and Technology. – 2008. – Vol. 22. – P. 1843–1852.
13. Majewski T. Fluid balancer for a washing machine / T. Majewski // In Proceedings of the XVI International Congress 2010. – P. 1–10. – (SOMIM – Society of Mechanical Engineers of Mexico).
14. Chen H.-W. Study on steady-state response of a vertical axis automatic washing machine with a hydraulic balancer using a new approach and a method for getting a smaller deflection angle / H.-W. Chen, Q. Zhang, S.-Y. Fan // J. Sound Vib. – 2011. – Vol. 330. – P. 2017–2030.
15. Urbiola-Soto L., Lopez-Parra M. Dynamic performance of the Leblanc balancer for automatic washing machines / L. Urbiola-Soto, M. Lopez-Parra // J. Vibr. Acoust. – 2011. – Vol. 133. – 041014-1-041014-8.
16. Bolotin V.V. Nonconservative Problems of the Theory of Elastic Stability / Bolotin, V.V. – Pergamon Press, Oxford, UK, 1963.
17. Crandall S.H. Rotor dynamics / W. Kliemann // Nonlinear Dynamics and Stochastic Mechanics / W. Kliemann, N. S. Namachivaya, editors. – CRC Press, Boca Raton, 1995. – P. 1–44.
18. Wolf Jr. Whirl dynamics of a rotor partially filled with liquid / Jr. Wolf // J. Appl. Mech. – 1968. – Vol. 35. – P. 676–682.
19. Hendricks S.L. Stability of a rotor partially filled with a viscous incompressible fluid / S.L. Hendricks, J.B. Morton // J. Appl. Mech. – 1979. – Vol. 46. – P. 913–918.
20. Holm-Christensen O. A note on rotor instability caused by liquid motions / O. Holm-Christensen, K. Traäger // J. Appl. Mech. – 1991. – Vol. 58. – P. 804–811.
21. Epishev L.O. O dinamicheskoy neustoychivosti vraschayuschegosya rotora pri nepolnom nalive jidkosti / L.O. Epishev // Nauchn. dokl. vyssh. shkoly. Mashinostroyeniye i priborostroyeniye. – 1959. – № 2. – S. 66–74.
22. Derendyaev N.V. Ob ustoychivosti statsionarnogo vrascheniya tsilindra, chastichno zapolnennogo vyazkoy nesjimaemoy jidkostyu / N.V. Derendyaev, V.M. Sandalov // Prikladnaya matematika i mehanika. – 1982. – T. 46, vyp. 4. – S. 578–586.
23. Dimentberg F.M. Izgibnyie kolebaniya vraschayuschihsva valov / F.M. Dimentberg. – M. : Izd-vo AN SSSR, 1959. – 246 s.
24. Rubanovskiy V.N. Ustoychivost statsionarnykh dvizheniy v primerakh i zadachah / V.N. Rubanovskiy, V.A. Samsonov. – M. : Nauka, 1988. – 304 s.
25. Gusarov A.A. Avtobalansiruyushchie ustroystva pryamogo deystviya / A.A. Gusarov. – M. : Nauka, 2002. – 119 s.
26. Nesterenko V.P. Avtomaticheskaya balansirovka rotorov i mashin so mnogimi stepenyami svobody / V.P. Nesterenko. – Tomsk : Izd-vo Tom.un-ta, 1985. – 85 s.
27. Dubovik V.A. Statsionarnoe vraschenie neuravnovesennogo rotora s jidkostnyim avtobalansiruyushchim ustroystvom pri deystvii sil vneshnego treniya / V.A. Dubovik, E.N. Pashkov // Izvestiya Tom. politehn. un-ta, 2006. – T. 308, № 4. – S. 145–147.
28. Pashkov E. Evaluation of Gravitational Force Effect on Balancing Processes in Liquid-Type Autobalancing Devices / E. N. Pashkov, N. V. Martyushev, I. A. Masson // Advanced Materials Research : Scientific Journal. – 2014. – Vol. 1040 : High Technology: Research and Applications 2014 (HTRA 2014). – P. 642–649.
29. Blehman L.I. Inertsialnye vozmushcheniya pologo vihrya, zaklyuchennogo v tsilindricheskiiy sosud / L.I. Blehman // Mehanika jidkosti i gaza. – 1978. – № 4. – S. 28–38.
30. Landau L.D. Gidrodinamika. Teoreticheskaya fizika : t. VI / L.D. Landau, E.M. Lifshits. – 3-e izd., pererab. – M. : Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1986. – 736 s.

Рецензія/Peer review : 06.03.2018 р.

Надрукована/Printed : 22.05.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Ройзман В.П.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ЯКІСТЬ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗУБКІВ ШАРОШОК БУРОВИХ ДОЛІТ

В статті розглянуто проблему отримання якісного композиційного матеріалу на металоматричній основі вставного зубка шарошок бурових доліт при відцентровому литві під дією магнітного поля. В роботі визначені технологічні фактори впливу на термічний цикл процесу формоутворення композиту. Обґрунтувавши тривалість необхідного часткового розчинення арматорів в розплаві матриці та визначивши діапазон їх оптимальних розмірів, можемо отримати конкурентоздатний зубок підвищеної довговічності, оскільки литі композиційні матеріали на сталій матриці мають для досягнення цієї мети ресурсні можливості.

Ключові слова: композиційний матеріал, зубок, шарошка, бурове долото.

R.T. KARPYK, L.D. PITULEI

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

THE STUDY OF THE INFLUENCE OF THERMOPHYSICAL PROCESSES ON THE QUALITY OF FORMATION OF THE ROLLER BITS OF THE DRILLING BITS

The article presents the issue of obtaining a high-quality composite material on the metallometric basis of a replaceable roller bit of the drilling bits (RBD) using centrifugal casting under the influence of a magnetic field. The work determines the technological factors of influence on the thermal cycle of the composite formation process. For determination of time of partial diffusive dissolution of armator in matrix fusion for the receipt of optimum physic-mechanical properties of composition material of tooth of RBD analytical dependence of radius is got taking into account his location in a vertical and horizontal plane. In obedience to the offered analytical dependences the calculation limits of finding of radius are got taking into account his location in a vertical and horizontal plane. Probing influence of thermophysical processes on quality of shaping of composition material of teeth of RBD, certainly range of optimum sizes of armators in a steel matrix, which will provide their placing without spread between itself and necessary adhesive contact for partial dissolution of relit with the purpose of receipt of complex physic-mechanical properties, in particular, maximally possible maintenance of descriptions of durability of armator. Having justified the duration of the required partial dissolution of reinforcement devices in the melt of the matrix and determined the range of their optimal sizes, we can obtain a competitive bit of increased durability since cast composite materials on a metal-on-metal bundle have the resources to achieve this goal.

Studying the thermophysical processes of the composite material formation of the bit of the RBD will allow not only to effectively optimise the technological process of formation of the bits of the RBD but also improve its handling in terms of achieving the planned results.

Key words: composite material, bit, roller, drilling bit, thermophysical processes, formation.

Вступ

Основний об'єм буріння свердловин різного призначення в нафтогазовидобувній галузі України здійснюється шарошковими буровими долотами (ШБД), робоча частина яких виготовляється з використанням дефіцитних твердих сплавів на основі вольфраму та кобальту. Зменшити використання твердих сплавів можна завдяки розробленню композиційного матеріалу різальної частини бурового інструменту з необхідними фізико-механічними властивостями. Перспективним напрямком забезпечення довговічності шарошок бурових доліт є виготовлення зубків шарошок із зносостійких литих матеріалів на сталій матриці, армованих твердим сплавом реліт під дією магнітного поля.

Розроблення теоретичних засад процесу формоутворення литого композиційного матеріалу зубка на сталій матриці, армованого релітом, відкриває нові потенційні можливості інтенсивного та керованого формування його структури з характеристиками, які в першу чергу залежать від умов подальшої експлуатації бурового інструменту.

Дослідження теплофізичних процесів формоутворення композиційного матеріалу зубка ШБД дозволять не тільки реально оптимізувати технологічний процес зубків ШБД, але покращити його керованість в аспекті досягнення запланованих результатів.

Основний розділ

Визначення оптимальних параметрів технологічного процесу виготовлення зубків шарошок бурового долота з композиційних матеріалів є неможливим без вивчення теплофізичних процесів, які відбуваються при формуванні виливка у керамічні форми під впливом магнітного поля. При цьому вагомим фактором отримання заготовки зубка ШБД з необхідними фізико-механічними властивостями композиту на металоматричній основі є термічний цикл процесу формоутворення, який визначається наступними основними параметрами:

- об'ємом і температурою залитого матричного металу;
- температурою попереднього підігрівання керамічної ливарної форми;
- співвідношенням геометричних розмірів ливарної оснастки;
- розмірами та кількістю введенного арматора (в даному випадку реліту);
- величиною магнітної індукції.

Вплив температури матричного металу при заливанні в ливарну форму залежатиме від кількості введенного арматора, яка є постійною величиною, та від типорозміру зубка ШБД, а також заданих його

функціональних характеристик.

Оптимальний термічний цикл технологічного процесу виготовлення композиційних зубків повинен забезпечити розчинність армітора в матриці на 14–18% [1]. На розчинність армітора в матриці впливає величина перегрівання розплаву, яка є постійною величиною для певного типорозміру зубка.

При введенні арміторів у матрицю слід врахувати механічні, теплові та фізико-хімічні фактори їх впливу на отримання необхідної структури композиційного матеріалу зубка ШБД [2, 3, 4].

Механічний вплив арміторів на рідку матрицю характеризується великою швидкістю відводу теплоти від матричного розплаву, внаслідок чого спостерігається його загальне переохолодження. При цьому армітори стають центрами кристалізації в об'ємі розплаву, що спонукає до зародження нових центрів кристалізації.

При тепловому впливі при введенні арміторів у рідку матрицю навколо них утворюється оболонка з матричного розплаву, плакуючи їх. Через певний період часу плакуюча оболонка під дією температури матричного розплаву розчиняється. По досягненню певного переохолодження плакуючої зони у ній утворюються центри кристалізації.

При дослідженні фізико-хімічних факторів впливу арміторів на отримання необхідної структури композиційного матеріалу зубків ШБД слід звернути увагу на їх модифікуючу дію в процесі кристалізації, адже процес легування обумовлений не тільки теплообміном, а також і масообміном. Як доведено в роботах [5, 6], тривалість окислення та часткового розчинення арміторів при температурах перегрівання нижче температури плавлення армітора визначається дифузійним розчиненням, тобто швидкість розчинення супроводжується процесом насичення цього шару домішками, концентрація яких відповідає температурі ліквідус розплаву.

Тривалість необхідного розчинення армітора в матричному розплаві для отримання необхідної структури композиційного матеріалу зубка визначається за формулою:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3, \quad (1)$$

Де τ_1 – час плакування армітора матричним розплавом;
 τ_2 – час розчинення плакуючої оболонки;
 τ_3 – час часткового дифузійного розчинення армітора [7].

При цьому були прийняті наступні припущення:

- армітор має сферичну форму;
- армітори рівномірно розподілені в об'ємі матриці;
- під час введення арміторів у матрицю тепловідвід через стінки ливарної форми відсутній.

Час плакування армітора та час розчинення плакуючої оболонки визначаються за емпіричними формулами [8].

Для визначення часу часткового дифузійного розчинення армітора в матричному розплаві для отримання оптимальних фізико-механічних властивостей композиційного матеріалу зубка ШБД необхідно знати радіус армітора, оскільки:

$$\tau_3 = \frac{r\rho_a}{\alpha_c} \left(\frac{2,3C}{3} \lg \frac{T_3 - T_0}{T_3 - T_{сол}} + \frac{2L}{T_3 - T_{сол}} \right), \quad (2)$$

де r – радіус армітора;
 ρ_a – густина армітора;
 α_c – ефективний коефіцієнт тепловіддачі;
 C – теплоємність армітора;
 T_3 – температура заливання матричного розплаву;
 $T_{сол}$ – температура завершення кристалізації матричного розплаву;
 L – питома теплота часткового розплавлення армітора.

Застосування магнітного поля при реалізації технологічного процесу виготовлення зубків ШБД з композиційного матеріалу забезпечує рівномірний розподіл арміторів в розплаві матриці, впливаючи на їх переміщення в процесі кристалізації.

Оскільки для визначення часу часткового дифузійного розчинення армітора необхідно знати його радіус, скористаємось умовою його відносного руху в розплаві.

Розглянемо випадок, коли армітор знаходиться на поверхні стінки ливарної форми під впливом магнітного поля при відцентровому литві (рис. 1).

Врахуємо сили, які діють на армітор:

$$\sum X_i \Rightarrow -F - N + F_i \cos(\alpha + \beta) - F_r \sin(\beta - \alpha) = 0, \quad (3)$$

$$\sum Y_i \Rightarrow S + F_b - F_i \sin(\alpha + \beta) - F_r \cos(\beta - \alpha) = 0, \quad (4)$$

де F – сила тертя армітора по поверхні стінки ливарної форми;

The diagram shows a rotating body with a vertical axis of rotation. A point O is marked on the axis. A horizontal dashed line represents the axis. A vertical line passes through O . A curved arrow indicates angular velocity ω . A force $\vec{F}$ is applied at a point, making an angle α with the horizontal axis. A normal force $\vec{N}$ is shown perpendicular to the force $\vec{F}$. A distance R is indicated from the axis to the point of application of $\vec{F}$. A force $\vec{F}_i$ is shown acting along the horizontal axis. A force $\vec{F}_r$ is shown acting vertically upwards. A force $\vec{S}$ is shown acting vertically downwards. A force $\vec{y}$ is shown acting along the vertical axis. The angle between the horizontal axis and the line of action of $\vec{F}_i$ is $\alpha + \beta$.

$$S = -F_b + F_i \sin(\alpha + \beta) + F_r \cos(\beta - \alpha). \quad (5)$$

$$F = f \cdot S,$$

$$F_b = a \cdot N, \quad (7)$$
$$N = 6\pi\gamma v_{cp} r,$$
$$v_{cp} = \omega R,$$
$$F_i = \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_a - \rho_m) \frac{v_{cp}^2}{R},$$

СИЛ:

$$r^3 + pr + q = 0, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} p &= \frac{9(af-1)}{2\omega(\rho_a - \rho_m)[\cos(\alpha + \beta) - f \sin(\alpha + \beta)]}, \\ q &= \frac{3[f \cos(\beta - \alpha) - \sin(\beta - \alpha)]NR_\phi B^2(R_\phi - R)^2}{\omega^2 R(\rho_a - \rho_m)[\cos(\alpha + \beta) - f \sin(\alpha + \beta)]\rho_m}. \end{aligned}$$

B – магнітна індукція;

R_ϕ – радіус ливарної форми.

Виходячи з оптимальних вихідних параметрів технологічного процесу виготовлення зубків ШБД коли виконується умова $\frac{q^2}{4} + \frac{r^3}{27} > 0$ рівняння (8) має у розв'язку єдиний дійсний корінь:

$$r = \sqrt[3]{\sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}} - \frac{q}{2}} + \sqrt[3]{-\sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}} - \frac{q}{2}}.$$

Розглянемо випадок, коли армітор знаходиться на поверхні стінки ливарної форми при відцентровому литві під дією магнітного поля у вертикальній площині (рис. 2).

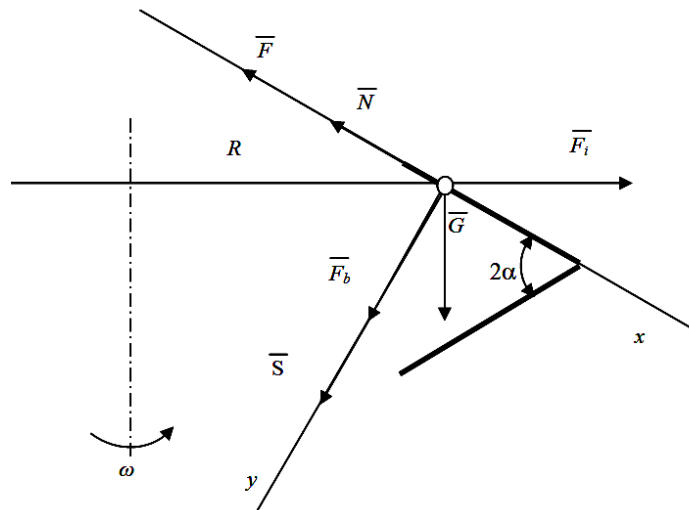


Рис. 2. Схема сил, діючих на армітор у матриці при відцентровому литві під впливом магнітного поля, у вертикальній площині

Рівняння рівноваги сил, діючих на армітор у розплаві під впливом магнітного поля, який знаходиться на поверхні конусоподібної стінки ливарної форми, матиме вигляд:

$$\sum X_i = 0 \Rightarrow -F - N + F_i \cos \alpha + G \sin \alpha = 0, \quad (10)$$

$$\sum Y_i = 0 \Rightarrow F_b + S + G \cos \alpha - F_i \sin \alpha = 0, \quad (11)$$

де G – сила тяжіння армітора ($G = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_a q$).

З рівняння (10) визначимо нормальну реакцію поверхні ливарної форми:

$$S = F_i \sin \alpha - G \cos \alpha - F_b. \quad (12)$$

Сила тертя армітора по поверхні стінки ливарної форми має вигляд:

$$F = f(F_i \sin \alpha - G \cos \alpha - F_b). \quad (13)$$

Отже, рівняння рівноваги сил, діючих на армітор у розплаві матриці під впливом магнітного поля, який знаходиться на поверхні конусоподібної стінки ливарної форми, можна записати як:

$$-f(F_i \sin \alpha - G \cos \alpha - F_b) - N + F_i \cos \alpha + G \sin \alpha = 0, \quad (14)$$

$$-f \left[\frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_a - \rho_m) \omega^2 R \sin \alpha - \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_a \cos \alpha - 6 \pi a \gamma \omega R r \right] - 6 \pi \gamma R r + \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_a - \rho_m) \omega^2 R \cos \alpha + \frac{4}{3} \pi q r^3 \rho_a \sin \alpha = 0. \quad (15)$$

Поділивши доданки у рівнянні (12) на $2 \pi r^3$ та зробивши перетворення, отримаємо:

$$\frac{2}{3} r^2 (\rho_a - \rho_m) \omega^2 R (\cos \alpha + f \sin \alpha) + \frac{2}{3} r^2 \rho_a q (f \cos \alpha + \sin \alpha) = 3 \pi \gamma \omega R (1 - a f). \quad (16)$$

Звідси

$$r = \sqrt{\frac{4,5\pi\gamma\omega(1-af)}{\omega^2(\rho_a - \rho_m)(\cos\alpha - f\sin\alpha) + \rho_a q(f\cos\alpha - \sin\alpha)}}$$

При значеннях густини армітора $\rho_a = 16,3 \text{ г/см}^3$; густини матриці $\rho_i = 7,1 \text{ г/см}^3$; коефіцієнту тертя $f = 0,05$, в діапазоні температур солідуса-ліквідуса та при оптимальних параметрах технологічного процесу (частоті обертання ливарної форми $n = 400 - 500 \text{ об/хв}$, радіусі ливарної форми $R_o = 0,12 - 0,18 \text{ м}$, магнітній індукції $B = 0,06 \text{ Тл}$, згідно розрахунків радіус армітора коливається в межах $0,85 - 1,8 \text{ м}$.

Висновки

Дослідивши вплив теплофізичних процесів на якість формоутворення композиційного матеріалу зубків ШБД, визначено діапазон оптимальних розмірів арміторів у сталій матриці, який забезпечить їх розміщення без дотикання між собою та необхідну адгезійну взаємодію для часткового розчинення реліту з метою отримання комплексу фізико-механічних властивостей, зокрема, максимально можливого збереження характеристик міцності армітора.

Аналізуючи, якими параметрами технологічного процесу формоутворення композиційного зубка можна оптимізувати структуру матеріалу робочої частини зубка ШБД, досягнемо послідовної реалізації сучасного наукового підходу «від властивостей матеріалу до властивостей конструкції».

Література

1. Бугай Ю.Н. Центробежно-армированный породоразрушающий буровой инструмент / Ю.Н. Бугай, И.В. Воробьев. – Львов : Выща ШК., Изд-во при Львов. университете, 1989. – 208 с.
2. Кутателадзе С.С. Теплообмен и трение в турбулентном пограничном слое / С.С. Кутателадзе, А.И. Леонтьев. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 320 с.
3. Рабинович Б.В. Литейные свойства сплавов / Б.В. Рабинович, В.М. Волков. – К. : ИПЛ АН УССР, 1972. – 305 с.
4. Пітулей Л.Д. Дослідження отримання оптимальної структури віброармованої зони зубків шарошок бурових доліт / Л.Д. Пітулей, Р.Т. Карпик // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 1(221). – С. 33–35.
5. Панасюк А.Д. Физико-химические основы контактного взаимодействия в системе тугоплавное соединение - жидкий металл / А.Д. Панасюк // Неорганические материалы. – 1979. – Т. 15 (4). – С. 569–573.
6. Гольдфарб Э.М. Теплотехника металлургических процессов / Э.М. Гольдфарб. – М. : Металлургиздат, 1967. – 440 с.
7. Кривуша Ю.В. Некоторые вопросы электромагнитного воздействия на тонкую структуру отливок / Ю.В. Кривуша, А.Э. Микельсон, И.А. Повх // Магнитная гидродинамика. – 1974. – № 2. – С. 116–120.
8. Шарыпов Л.З. Исследование кинетики растворения релита в стали 20ХН3А / Л.З. Шарыпов, В.В. Хлынов, В.И. Ишымов // Технология и оборудование сварочных процессов. – 1970. – № 76. – С. 135–140.

References

1. Bugaj Y.N., Vorobjov I.V. Centrobezhno-armirovannyj' porodorazrushayushhij burovoj instrument. L'vov: Vyshha Shk, 1989, 208 p.
2. Kutateladze S.S., Leont'ev A.I. Teploobmen i trenie v turbulentnom pogrannichnom sloe. Moscow, Energoatomizdat, 1985, 320 p.
3. Rabinovich B.V., Volkov V.M. Litejnye svojstva splavov, Kiev, IPL AN USSR, 1972, 305 p.
4. Pitulei L.D., Karpik R.T. Doslidzhennia otrimannia optymalnoi struktury vibroarmovanoi zony zubkiv sharoshok burovych dolit, *Herald of Khmelnytskyi National University*, 2015, No.1(221), pp.33-35.
5. Panasiuk A.D. Fiziko-ximicheskie osnovy' kontaktного vzaimodejstviya v sisteme tugoplavkoe soedinenie - zhidkij metall, *Neorganicheskie materialy*, 1979, Vol.15, No. 4, pp. 569- 573.
6. Gol'dfarb E.M. Teplotexnika metallurgicheskix proceessov. Moscow, Metallurgizdat, 1967, 440 p.
7. Krivusha Yu.V., Mikel'son A.E., Povx I.A. Nekotory'e voprosy' e'lektromagnitnogo vozdeystviya na tonkuyu strukturu otlivok, *Magnitnaya gidrodinamika*, 1974, No. 2, pp. 116-120.
8. Shary'pov L.Z., Xly'nov V.V., Ishy'mov V.I. Issledovanie kinetiki rastvoreniya relita v stali 20ХН3А, *Tehnologiya i oborudovanie svarochny'x proceessov*, 1970, No. 76, pp.135–140.

Рецензія/Peer review : 26.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 12.05.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Панчук В.Г.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ І ТЕПЛООБМІНУ ПІД ЧАС КОНДЕНСАЦІЇ В СЕРЕДИНІ ГЛАДКИХ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ТРУБ

У роботі обґрунтовано необхідність урахування впливу на гідродинаміку і теплообмін за кільцевого режиму течії фаз поперечного перетікання маси й унесення конденсату. Виміряно локальні коефіцієнти тепловіддачі під час конденсації водяної пари та холодоагенту R141b у гладких трубах, що дозволило отримати чітке уявлення про вплив швидкості пари, теплового потоку, унесення конденсату й паровмісту на розподіл локальних коефіцієнтів тепловіддачі за периметром труби. Показано вплив поперечного потоку маси на характер та інтенсивність теплообміну. Виявлено, що у разі збільшення поперечного перетікання маси перехід від кільцевого режиму течії до проміжного, а потім і до розшарованого, відбувається за більш низьких значень числа Fr.

Ключові слова: конденсація в середині труб, режими течії фаз, поперечне перетікання маси, унесення конденсату.

V.V. GORIN

Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality

V.V. SEREDA

National University of Water and Environmental Engineering

RESEARCH FINDINGS OF HYDRODYNAMICS AND HEAT TRANSFER IN CONDENSING INSIDE HORIZONTAL PLAIN TUBES

The necessity for the accounting of influence of cross-sectional mass flow and condensate entrainment on hydrodynamics and heat transfer during annular phase flow is substantiated in this paper. The influence of cross-sectional mass flow on heat transfer nature and intensity is shown. It was found that with cross-sectional mass flow increase, transition from the annular flow regime to intermediate and then to the stratified takes place at a lower Fr numbers and intensive liquid entrainment (up to 40%) occur on a large part of the tube during condensation of moving vapour. Flow pattern map, which takes into account influence of both condensate film thickness and friction coefficient at the interphase on flow regimes change is given in this paper. The local heat transfer coefficients in condensing of steam R718 and refrigerant R141b is measured. The experimental runs in steam condensing are carried out at heat flux ranging between $5 \cdot 10^4$ and $4 \cdot 10^5$ kW/m² and velocity varying from 0.5 to 60 m/s. In the case of R141b condensation, heat flux ranging between 10 and 44 kW/m² and mass velocity varying from 2 to 12 m/s over vapour quality range 0.15-0.86. This experiments made it possible to get a clear picture of influence of on local velocity, heat flux, condensate entrainment and mass vapor quality on heat transfer distribution along tube perimeter. Particularly, independence of local heat transfer coefficients from mass vapour content and increasing their value with heat flux growth, especially in the middle and lower parts of the tube, where condensate film has a bigger thickness than in the upper part of the tube, is shown. The values of heat transfer coefficients at different points along the tube perimeter are approaching each other with the growth of the vapour velocity. This approaching occurs faster, if heat flux values are higher. Relationship for pressure losses prediction in condensing inside horizontal tubes is proposed. The dependence of total pressure losses on friction losses, flow acceleration and local resistance is shown.

Keywords: condensation inside horizontal tubes, phase flow regimes, cross-sectional mass flow, condensate entrainment.

Вступ

У сучасних системах кондиціонування та в теплонасосних установках процес конденсації пари відбувається переважно в середині горизонтальних труб і каналів. У цьому обладнанні застосовують як різні холодоагенти (R22, R141b та ін.), так і їх суміші (R410A, R407C та ін.). У техніці опріснення морської води найбільш високоефективними (за значеннями коефіцієнтів теплопередавання) є плівкові випарники з горизонтальними трубами, у середині яких конденсується водяна пара.

Незважаючи на те, що з моменту появи перших робіт із дослідження конденсації опубліковано сотні нових результатів, інтерес до вивчення процесів гідродинаміки та теплообміну в разі конденсації в середині горизонтальних труб, не зменшується. Це зумовлено як із появою нових холодоагентів, так із більш точною технікою дослідження режимів течії двофазного потоку в середині труб. У праці [1] показано, що наявні карти режимів різних авторів не узгоджуються між собою. Ця неузгодженість істотно впливає на визначення коефіцієнта тепловіддачі та призводить до істотних (понад 30 %) похибок під час порівняння розрахункових залежностей з теплообміну різних авторів з дослідними даними, отриманими в експериментах із різними рідинами.

Метою цієї роботи є обґрунтування потреби враховувати вплив на гідродинаміку й теплообмін за кільцевого режиму течії фаз поперечного перетікання маси та унесення конденсату, а також виконання необхідних експериментів, які підтверджують справедливості урахування цих факторів. Отримано нові значення локальних за периметром труби коефіцієнтів тепловіддачі, що дає змогу досить точно визначити вплив сил поверхневого натягу на теплообмін під час конденсації в середині горизонтальної гладкої труби.

1. Матеріальне та методичне забезпечення експериментальних досліджень процесів конденсації в середині труб

Для проведення експериментальних досліджень використовували установку, принципову схему якої подано на рис. 1. Методику проведення експериментів наведено у праці [2]. Основні елементи установки

такі: електрокотел 1 (генерація сухої насиченої або перегрітої пари); дослідна ділянка 4; задавальна ділянка 3 (можливість моделювання процесу конденсації пари у трубах різної довжини); кінцевий конденсатор 6 (можливість дослідження процесу конденсації за великих швидкостей пари). Стенд виконано з водяною системою охолодження. Дослідна ділянка 4 (рис. 2) – товстостінна труба з неіржавкої сталі 12X18H10T (коефіцієнт теплопровідності $\lambda = 15 \text{ Вт/(м·К)}$) із внутрішнім діаметром $d_{\text{вн}} = 17 \text{ мм}$, що розміщена на одній осі із задавальною ділянкою 3 та охолоджується незалежно від неї. Хромель-копелеві термопари закладені на двох радіусах $r = 11,5 \text{ мм}$ та $R = 37 \text{ мм}$ за периметром труби у десяти точках ($\varphi = 0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4, \pi$). Така конструкція робочої ділянки дає змогу вимірювати локальні температури у фіксованих точках у стінці дослідної ділянки.

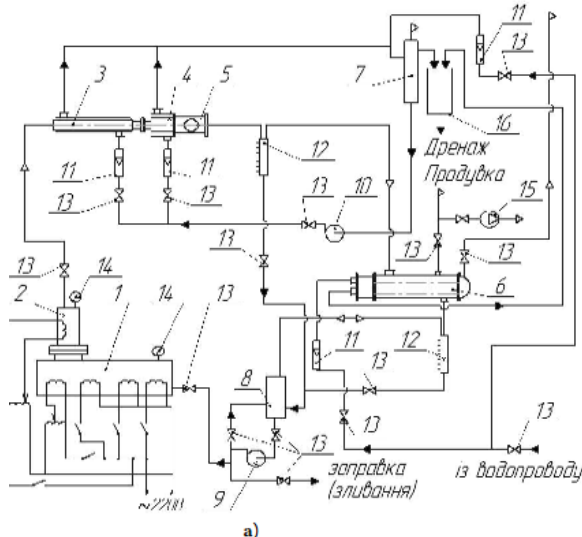


Рис. 1. Схема дослідного стенда: 1 – електрокотел; 2 – пароперегрівач; 3 – задавальна ділянка; 4 – дослідна ділянка; 5 – ділянка візуалізації; 6 – конденсатор; 7 – змішувач; 8 – ресивер; 9 – конденсатний насос; 10 – циркуляційний насос; 11 – ротаметр; 12 – вимірник; 13 – регулювальні та запірні органи; 14 – манометр; 15 – вакуумний насос; 16 – дренаж

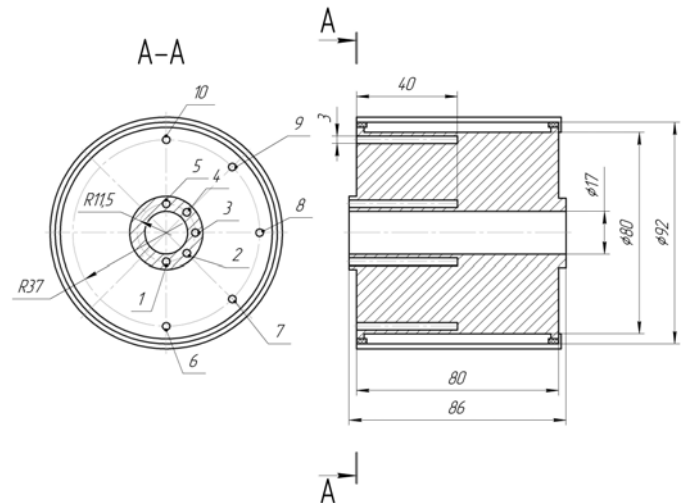


Рис. 2. Конструкція дослідної ділянки: 1...10 – номери термопар

2. Режимі течії фаз і унесення конденсату

2.1. Режимі течії фаз

У разі конденсації пари на початковій ділянці труби через великі швидкості пари і малу товщину плівки конденсату, завжди відбуватиметься кільцевий режим течії фаз із ламінарною плівкою конденсату і з турбулентним паровим ядром.

Товщина плівки конденсату за $q = \text{const}$ визначається за залежністю з праці [3]:

$$\delta_z = \left[\frac{4qzv}{rC_f W_n^2 \rho_n} \right]^{0,5}, \quad (1)$$

де C_f та W_n – місцеві коефіцієнт тертя і швидкість пари.

Дотичне напруження, що діє на плівку рідини, за кільцевого режиму визначаємо як

$$\tau_1 = \frac{C_f}{2} \rho_n W_n^2. \quad (2)$$

Зі збільшенням довжини шляху конденсату z швидкість пари зменшується внаслідок конденсації, і на течію плівки конденсату впливатиме сила тяжіння. Течія плівки конденсату буде асиметричною. Нарешті, за деякої z , сила тяжіння починає суттєво впливати на течію конденсату, дотичне напруження у плівці при цьому обчислюємо як

$$\tau_2 = (\rho - \rho_n) g (\delta - y). \quad (3)$$

Для спрощення розв'язання візьмемо τ_2 постійним за y , тоді, для випадку, коли $\rho_n \ll \rho$, отримаємо

$$\tau_2 = \rho g \delta. \quad (4)$$

Уважасмо, що за $\Pi_\tau = \tau_1/\tau_2 > 5$ режим течії переважно визначатиметься впливом сили міжфазного тертя, а за $\tau_1/\tau_2 < 0,2$ – впливом сили тяжіння (граничні значення Π_τ знайдено експериментально нижче).

Тоді для кільцевого режиму отримаємо такий вираз, який визначає межі цього режиму:

$$(FrC_f) = 7,36(Re_{nl})^{1/3}, \quad (5)$$

а для режиму із суто гравітаційною течією конденсату відповідно

$$(FrC_f) = 0,86(Re_{nl})^{1/3}. \quad (6)$$

Коефіцієнт тертя C_f у двофазному потоці визначаємо з урахуванням відсмоктування маси з примежового шару пари за формулою із праці [4]

$$C_f = C_{f_{0e}} \frac{(1 - 0,25b)^2}{(1 + 0,25b)^{0,2}}, \quad (7)$$

де
$$b = -\frac{2J}{C_{f_{0e}}}; \quad J = \frac{q}{r\rho_n W_n}.$$

Коефіцієнт тертя $C_{f_{0e}}$ для кільцевого режиму течії фаз розраховуємо за залежністю із праці [5]:

$$C_{f_{0e}} = C_{f_0} \left(1 + 300 \frac{\delta}{d} \right), \quad (8)$$

де C_{f_0} – коефіцієнт тертя для однофазного потоку, який за турбулентною течією пари у трубі обчислюємо як $C_f = 0,079/Re_n^{0,25}$.

Отримані значення критичних параметрів FrC_f , які характеризують переважний вплив сил тертя або тяжіння, повністю збігаються з даними, отриманими у результаті аналізу розв'язку Нуссельта [3] для конденсації рухомої пари вздовж вертикальної поверхні. У праці [6] наведено результати розв'язку Нуссельта [3] у вигляді графіка залежності $\bar{Nu} / \bar{Nu}_l = f(A)$,

$$\left(A = \frac{C_f}{2} \cdot \frac{\rho_n}{\rho} \cdot Fr_l \cdot \bar{Nu}_l; Fr_l = \frac{W_n^2}{gl}; \bar{Nu}_l = \frac{\bar{\alpha} l}{\lambda} \right).$$

Згідно із цією залежністю, за $A > 3,5 - 4$ відбувається переважний вплив швидкості пари, а за $A < 2,5$ – переважний вплив сили тяжіння.

На рис. 3 за залежностями (5) та (6) побудовано криві, що обмежують ділянки з різними режимами течії фаз. Вище від верхньої кривої I міститься ділянка А з кільцевим режимом течії фаз, де переважний вплив на течію конденсату здійснює міжфазне тертя. Нижче від нижньої кривої II міститься ділянка В із суто гравітаційною течією плівки конденсату, коли впливом швидкості пари можна знехтувати. Ділянка Б, обмежена двома кривими I і II, – це зона, де на течію плівки конденсату однаково впливають як сила тяжіння, так і сила міжфазного тертя.

На рис. 3 також подано дослідні дані з праць [6–8] за локальними α_ϕ , які відповідають певному режиму течії фаз за характером їх змінювання за кутовою координатою ϕ , а саме області кільцевого режиму відповідають досліди, в яких виникав майже симетричний розподіл α_ϕ за ϕ , в області з гравітаційним режимом течії плівки розподіл α_ϕ за ϕ підпорядковувався закону Нуссельта для зовнішньої поверхні горизонтальної труби за $W_n = 0$. Однак у проміжній області Б зберігався асиметричний, але відмінний від закону Нуссельта розподіл α_ϕ . Як видно з рис. 3, залежності (5) і (6) цілком задовільно характеризують режими течії фаз. Слід відзначити одну важливу особливість, через яку верхня гранична крива має проходити значно нижче від розрахованої за (5) лінії. Ця особливість зумовлена унесенням рідини в потік пари (рис. 3), унаслідок чого фактичне число Re_{nl}^* тим менше за $Re_{nl} = qz/r\mu$, чим більше швидкість пари, число Re_{nl} та довжина шляху конденсату z , тому на рис. 3 за віссю ординат необхідно відкладати Re_{nl}^* , що дорівнює

$$Re_{nl}^* = Re_{nl} - \frac{G_y}{\pi d \mu}, \quad (9)$$

де G_y – кількість конденсату, унесеного з парою.

Запропонована на рис. 3 карта режимів течії суттєво відрізняється від подібних карт для конденсації з праць [1; 9–11], у яких не враховано впливу товщини плівки конденсату й коефіцієнта тертя на межі поділу фаз, на змінювання меж режимів.

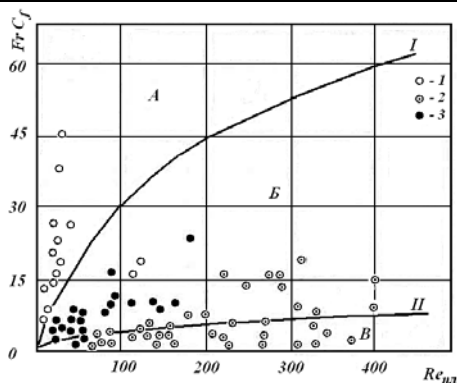


Рис. 3. Карта режимів течії для конденсації пари у середині горизонтальної труби:

- 1 – $\alpha_\phi = \text{const}$ за ϕ ; 2 – α_ϕ відповідає формулі Нуссельта;
3 – $\alpha_\phi = \text{var}$ за ϕ

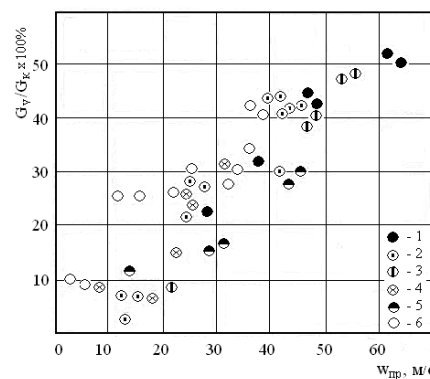


Рис. 4. Вплив швидкості пари W_n на унесення конденсату:

- 1 4, 6 – $\bar{q}_\phi = 3 \times 10^5$; 5 – $\bar{q}_\phi = 0$;
1 – $Re_{nl} = 65$; 2 – 90–95;
3 – 200; 5 – 300; 6 – 400

2.2. Унесення конденсату

Одним з важливих питань гідродинаміки двофазного потоку є унесення рідини. Наявна в літературних джерелах інформація щодо початку та частки унесення за супутньої течії фаз стосується адіабатних потоків [5; 12–17].

Хоча з аналізу моделей унесення випливає, що початок та частка унесення визначаються значною мірою опором на межі поділу фаз, у залежностях для обчислення цих важливих параметрів як для супутньої, так і для протитечійної течії фаз бракує коефіцієнта тертя. У працях [12; 13; 15; 16] критична швидкість початку унесення зменшується зі зростанням числа Re_{nl} . Так, у праці [16] початок зривання крапель у разі супутньої течії півки та газу можна знайти за залежністю

$$\frac{W_{кр} \rho_n^{0.5}}{[Gg(\rho - \rho_n)]^{0.25}} = 36 Re_{nl}^{-1/3}. \quad (10)$$

У праці [20] для вертикального спадного потоку запропоновано залежність

$$W_{кр} = 115 \left(\frac{G}{g \rho_n} \right)^{0.5} \left[\frac{x}{(1-x)d} \right]^{0.25}. \quad (11)$$

У праці [11] пропонують для оцінювання $W_{кр}$ співвідношення, не пов'язане з витратою рідини:

$$\frac{W_{кр} \mu_c}{G} \left(\frac{\rho_c}{\rho} \right)^{0.5} > 2.46 \cdot 10^{-4}. \quad (12)$$

Як видно із залежностей (10)–(12), ступінь впливу G на $W_{кр}$ різний і змінюється від 0,25 до 1,0. Ще більш складне питання стосовно частки унесення, яке тісно пов'язане з такими мало вивченими процесами, як розподіл крапель за периметром труби, змінювання їх фракційного складу, краплинний масообмін та інші. Нині ці процеси лише починають досліджувати тільки для адіабатних двофазних потоків. Автори не знаходили в літературі таких досліджень стосовно конденсації рухомої пари, так само як і будь-яких даних щодо початку та частки унесення.

Слід зауважити, що у разі конденсації на початковій ділянці труби, де найбільш високі швидкості пари, числа Re_{nl} невеликі. З віддаленням від входу в трубу Re_{nl} зростає, але водночас зменшується вплив парового потоку на плівку конденсату. Крім того, унаслідок наявності поперечного потоку маси сила опору тертя на межі поділу фаз значно більша, ніж для адіабатного потоку, тому критична швидкість пари для початку унесення та частка унесення за однакових Re_{nl0} і W_n з адіабатним потоком можуть відрізнитися.

У наших дослідках частка унесення дорівнювала відношенню витрат унесеного конденсату G_y до загальної витрати конденсату G_k і визначалася на виході з дослідної секції (рис. 1). На рис. 4 наведено дані щодо унесення конденсату у вигляді залежності від швидкості продування пари за різними Re_{nl} на виході з труби для $P \approx 1,1$ бар. Аналіз рис. 4 дозволяє виокремити такі основні особливості: 1) частка унесення помітна вже за $W_n > 10$ м/с; 2) за $W_n > 20$ м/с частка унесення не залежить від Re_{nl} ; 3) без теплового потоку, тобто конденсації пари, на невеликому, завдовжки 0,08 м ділянці труби у вихідній її частині, зменшується частка унесення для великих чисел Re_{nl} на 10–15 %. Остання особливість свідчить про те, що поперечне перетікання маси впливає на опір тертя на межі поділу фаз.

Для більш коректного порівняння отриманих даних із наявними у працях [12, 13, 17]

розрахунковими залежностями для адіабатних течій слід узяти значення з рис. 4 для малих чисел Re_{nl} (<100), коли швидкість пари незначно змінюється за довжиною труби, тобто $W_{np} \approx \bar{W}_n$ ($\bar{W}_n$ – середня швидкість пари у трубі). За цих значень $\bar{W}_n$ і $\bar{W}_n > 40 \text{ м/с}$ імовірна кільцева течія фаз, коли справедливі співвідношення для розрахунку унесення із зазначених праць. На рис. 5 показано таке порівняння з кореляційною кривою із праці [5]. Дані щодо унесення конденсату узгоджуються з даними із праці [5] за великих W_n , тобто тоді, коли параметр, який характеризує частку унесення,

$$Pi_y = \frac{W_n \mu_n \left(\frac{\rho_n}{\rho} \right)^{0,5}}{G} > 4 - 6 \cdot 10^4.$$

Однією з причин великого значення частки унесення за малих Pi_y (W_n) у дослідях є, вочевидь, великі коефіцієнти тертя (дотичні напруження) на межі поділу фаз унаслідок впливу поперечного потоку маси порівняно з адіабатними потоками.

Більш низькі значення G_y , ніж отримані в дослідях, визначають також за залежностями з праць [12; 13; 17]. Отже, під час конденсації рухомої пари в середині труб на значній частині труби відбувається інтенсивне унесення рідини з парою. Для високих значень тисків пари, поданих у дослідях [18–22], вже за місцевого значення $W_n > 10 \text{ м/с}$ комплекс $Pi_y > 4 \cdot 10^4$, що відповідно до рис. 5 дає частку унесення більш ніж 40 %.

3. Локальні коефіцієнти тепловіддачі під час конденсації в середині горизонтальної гладкої труби

3.1. Дослідні дані щодо конденсації водяної пари

Експериментальні дослідження теплообміну в разі конденсації пари у середині горизонтальної труби проведено в діапазоні змінювання таких режимних параметрів: середній за ϕ $\bar{q}_\phi = 5 \cdot 10^4 - 4 \cdot 10^5 \text{ Вт/м}^2$, швидкість пари в місці вимірювання локальних α_ϕ $W_n = 0,5 - 60 \text{ м/с}$, температура пари $T_n = 313 - 373 \text{ К}$. У кожному сталому режимі ($W_n = \text{const}$, $\bar{q}_\phi = \text{const}$, $G_k = \text{const}$) виконували чотири виміри всіх величин. Якщо діапазон виміряних температур стінки відносно середнього значення не перевищував 5 %, то це значення вводили як граничну умову для розв'язування рівняння теплопровідності.

Методика дослідження дозволила вперше визначити вплив поперечного потоку маси q/r на інтенсивність конденсації за однакових значень W_n (Fr) та G_k (Re_{nl}). У результаті цього отримано нові дані у разі конденсації рухомої пари в середині труб із впливом q/r , які наведено на рис. 6 у вигляді залежності відношення середнього за ϕ $\bar{\alpha}_\phi$ до розрахункового за залежністю Нуссельта (1) $\bar{\alpha}_{Nu}$ для заданого значення $\bar{q}_\phi$ від числа Fr (W_n) за $Re = 50 - 80$. З рис. 6 видно, що чим більше $\bar{q}_\phi / r$, тим за меншим Fr або W_n на інтенсивність теплообміну починає впливати міжфазне тертя. Зростання $\bar{q}_\phi$ сприяє не тільки збільшенню $\bar{\alpha}_\phi$, але і вирівнюванню α_ϕ за периметром труби (рис. 7), що повністю узгоджується з моделлю режимів течії фаз, наведеною у розд. 2. З рис. 6 видно, що лише за дуже низьких значень $\bar{q}_\phi$ і $\bar{W}_n$, числові значення $\bar{\alpha}_\phi = \bar{\alpha}_{Nu}$, тобто аналогічно процесу конденсації на зовнішній поверхні горизонтальної труби, при цьому локальні α_ϕ збігаються (рис. 8) із розрахунком за формулою Нуссельта [3].

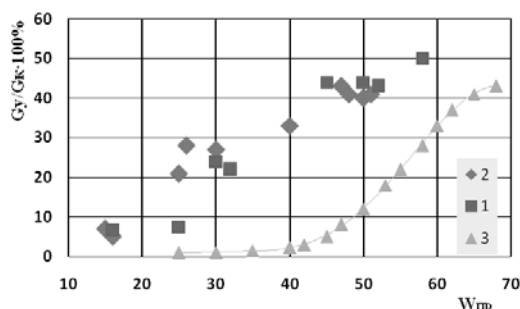


Рис. 5. Зіставлення даних щодо унесення конденсату з розрахунком за працею [11] (лінія 3): 1, 2 – дослідні дані;

1 – $Re_{nl} = 65$;
2 – 90–95

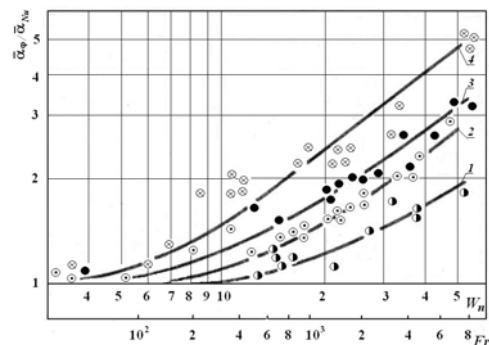
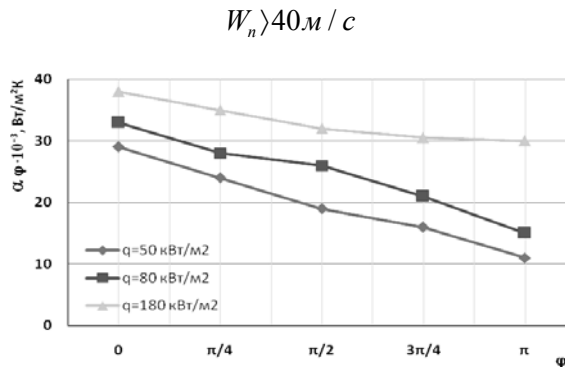
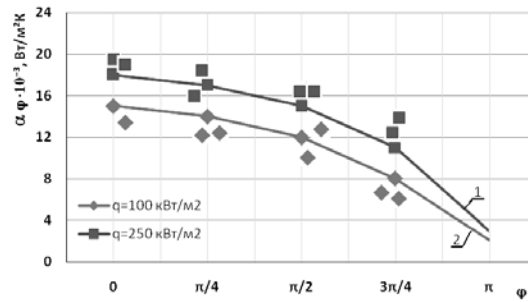
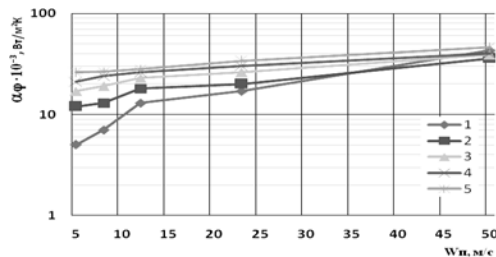
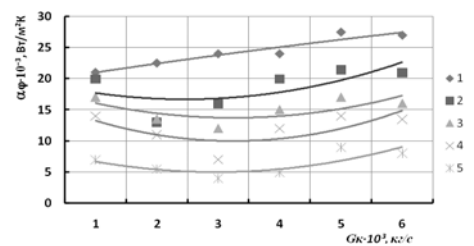


Рис. 6. Вплив швидкості пари (Fr) та середнього теплового потоку $\bar{q}_\phi$ на інтенсивність конденсації за $Re_{nl} \approx 75$:

1 – $\bar{q}_\phi = 70 \text{ кВт/м}^2$; 2 – 150; 3 – 220; 4 – 320

Рис. 7. Вплив $\bar{q}_\phi$ на α_ϕ за $W_n = 30 \text{ м/с}$ та $Re_{nл} = 30$.Рис. 8. Локальна тепловіддача за $W_n \leq 5 \text{ м/с}$:
1 – $\bar{q}_\phi = 100 \text{ кВт/м}^2$, 250 (лінії 1, 2 – розрахунок за виразом (13), точки – дослідні дані)

За асиметричного та кільцевого режимів течії фаз, коли на гідродинаміку і теплообмін впливають швидкість пари та поперечне перетікання маси, характер впливу натікання конденсату на α_ϕ і $\bar{\alpha}_\phi$ змінюється. Збільшення швидкості пари завжди сприяє зростанню α_ϕ у всіх точках периметра труби (рис. 9). Окрім того, у широкому діапазоні змінювання швидкості пари виникає асиметрична течія конденсату. Значення, коли, згідно з рис. 9, має місце фактично кільцевий режим течії фаз відповідає числу $Fr > 5000$ для $T_n \approx 373 \text{ К}$. Для $T_n = 333 \text{ К}$ кільцевий режим течії фаз виникає вже за $Fr > 900$. Отже, оцінювання впливу сил тяжіння та міжфазного тертя на змінювання меж режимів тільки за числом Fr недостатньо. Натомість ідентифікація режимів течії фаз, запропонована в цій роботі (рис. 3), коли враховано взаємодію сил тяжіння і міжфазного тертя на межі поділу фаз, і поперечне перетікання маси, найбільш точно відповідає фізиці процесу. Характер впливу натікання конденсату на закономірності теплообміну залежить від режиму течії фаз. У разі гравітаційного режиму збільшення кількості конденсату G_k , що натікає, призводить до збільшення глибини струмка конденсату. Спочатку це призводить до зменшення локальних α_ϕ , проте згодом у разі переходу течії струмка до турбулентного режиму, α_ϕ зростають зі збільшенням G_k (рис. 10). У цьому разі в усіх точках периметра α_ϕ зменшується зі зростанням G_k (рис. 10). Однак ступінь впливу на α_ϕ числа $Re_{nл}$ значно менший за значення 0,5, яке прогнозують згідно з теоретичним розв'язанням для кільцевого потоку. Для асиметричного режиму цей факт зумовлений тим, що частина рідини по всій довжині труби перетікає в її нижню частину через вплив сили тяжіння, а також через унесення рідини з парою, що відбувається вже за швидкості пари $W_n > 15 \div 20 \text{ м/с}$. У разі кільцевого режиму течії фаз менший ступінь впливу $Re_{nл}$ зумовлений тільки унесенням, частка якого за великих значень швидкостей пари та $Re_{nл}$ досягає у дослідях більш ніж 50 %.

Рис. 9. Вплив швидкості пари на α_ϕ за $Re_{nл} = 8$ та $\bar{q}_\phi = 1,7 \cdot 10^5 \text{ Вт/м}^2$: 1 – $\phi = \pi$; 2 – $3/4 \pi$; 3 – $\pi/2$; 4 – $\pi/4$; 5 – $\phi = 0$ Рис. 10. Вплив натікання конденсату на локальні α_ϕ за $W_n \leq 1-5 \text{ м/с}$, $\bar{q}_\phi = 1,3 \cdot 10^5 \text{ Вт/м}^2$: 1 – $\phi = 0$; 2 – $\pi/4$; 3 – $\pi/2$; 4 – $3/4 \pi$; 5 – π

3.2. Дослідні дані щодо конденсації холодоагенту R141b

Холодоагент R141b використовують як для очищення холодильних систем, так і як робочу речовину в разі замінювання холодоагентів R11 і R113, які є озоноруйнівними, і їх було заборонено за міжнародними правилами, спрямованими на захист озонового шару.

Досліди з конденсації R141b проводили за такими режимними параметрами: швидкість пари робочого тіла $w_n = 2, 5$ та 12 м/с , густина теплового потоку $q = 10-44 \text{ кВт/м}^2$, масовий паровміст $x = 0,15-0,86$.

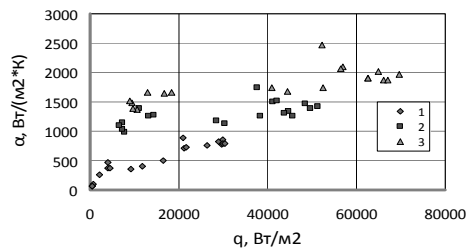


Рис. 11. Локальні коефіцієнти тепловіддачі під час конденсації хладону R141b у верхній, середній та нижній частинах горизонтальної гладкої труби: $w_{\text{ср}} = 2,56$ м/с; 1 – низ, 2 – середина, 3 – верх

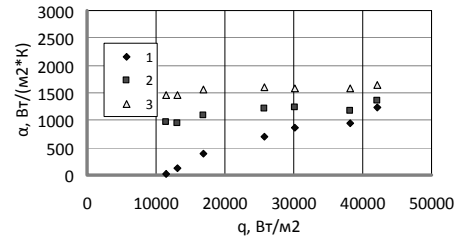


Рис. 12. Локальні коефіцієнти тепловіддачі під час конденсації хладону R141b у верхній, середній та нижній частинах горизонтальної гладкої труби: $x = 0,35$; $w_{\text{ср}} = 2,02$ м/с; 1 – низ, 2 – середина, 3 – верх

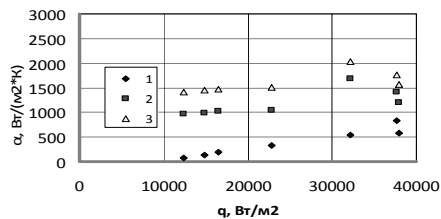


Рис. 13. Локальні коефіцієнти тепловіддачі під час конденсації хладону R141b у верхній, середній та нижній частинах горизонтальної гладкої труби: $x = 0,49$; $w_{\text{ср}} = 2,14$ м/с; 1 – низ, 2 – середина, 3 – верх

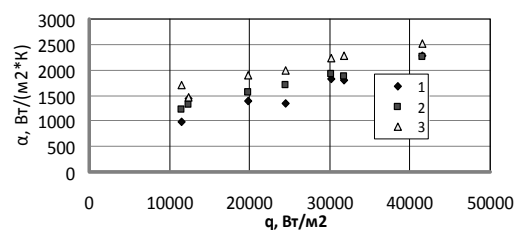


Рис. 14. Локальні коефіцієнти тепловіддачі під час конденсації хладону R141b у верхній, середній та нижній частинах горизонтальної гладкої труби: $x = 0,75$; $w_{\text{ср}} = 11,05$ м/с; 1 – низ, 2 – середина, 3 – верх

На рис. 11–14 подано результати вимірювання локальних коефіцієнтів тепловіддачі під час конденсації пари хладону R141b у верхній, середній та нижній частинах горизонтальної гладкої труби за різних швидкостей пари і трьома значеннями масового паровмісту x .

Із цих даних видно, що локальні коефіцієнти тепловіддачі фактично не залежать від значення x та зростають зі збільшенням теплового потоку q , особливо в середній і нижній частині труби, де плівка конденсату має більшу товщину, ніж у верхній частині (рис. 13). Зі зростанням швидкості пари коефіцієнти тепловіддачі у різних точках за периметром труби зближуються і тим швидше, чим більше значення теплового потоку (рис. 14).

4. Гідрравлічний опір під час конденсації водяної пари в середині гладкої горизонтальної труби

4.1. Методика розрахунку втрат тиску

У процесі досліджень вимірювали втрати тиску за рухом потоку пари зі сталою швидкістю (адіабатний потік) у дослідній ділянці з внутрішнім діаметром $d_{\text{вн}} = 17$ мм (див. рис. 1). Для адіабатного потоку пари втрати тиску обчислювали за співвідношенням

$$\Delta P_{\text{ад}} = \Delta P_{\text{тр.ад}} + \Delta P_{\text{м}}, \quad (13)$$

де втрати на тертя $\Delta P_{\text{тр.ад}}$ та місцеві втрати $\Delta P_{\text{м}}$ визначали як

$$\Delta P_{\text{тр.ад}} = \xi_{\text{тр.ад}} \frac{\rho_n w_n^2 L}{2d}, \quad (14)$$

$$\text{де } \Delta P_{\text{м}} = \xi_v \frac{\rho_n w_n^2 L}{2d}, \xi_{\text{тр.ад}} = \frac{0,316}{\text{Re}_n^{0,25}}.$$

У разі конденсації пари втрати на тертя знаходили за формулою

$$\Delta P_{\text{тр.к}} = \Delta P_q - \Delta P_{\text{пр}} - \Delta P_{\text{м}}, \quad (15)$$

де втрати на прискорення $\Delta P_{\text{пр}}$ розраховувалися як різниця кількості руху в кінцевому та початковому перерізах робочої ділянки (див. рис. 2):

$$\Delta P_{\text{пр}} = (\rho_n w_n)^2 v_n (x_{\text{вих}} - x_{\text{вх}}), \quad (16)$$

де $\rho_n w_n$ – масова швидкість пари.

Отримані за виразом (15) значення $\Delta P_{\text{тр.к}}$ порівнювали з розрахунковими $\Delta P_{\text{тр.ад}}$ за виразом (14), при цьому враховували змінювання швидкості пари за довжиною труби.

Нехтуючи у першому наближенні змінюванням коефіцієнта гідрравлічного опору за довжиною труби

через його незначну залежність від швидкості пари ($\approx w_n^{-0,25}$) та використовуючи вираз (13), отримуємо залежність для обчислення $\Delta P_{mp,q}$:

$$\Delta P_{mp,q} = \xi_{mp,q} \frac{\rho_n}{2} \frac{L}{d} \left[\frac{(w_{ex} - w_{np})^2}{3} - w_{np}^2 \right]. \quad (17)$$

Аналіз дослідних даних показав, що у результаті оцінювання $\Delta P_{mp,q}$ за (17) та середньою швидкістю пари $\bar{w}_n = \frac{(w_{ex} + w_{np})}{2}$ отримаємо значення $\Delta P_{mp,q}$, що відрізняються одне від одного не більш ніж на 5–7 %, тому в подальшому під час порівняння дослідних даних $\Delta P_{mp,q}$ із розрахунковими для адіабатного потоку в формулу для визначення $\Delta P_{mp,q}$ підставляли середню швидкість пари $\bar{w}_n$.

4.2. Гідрравлічний опір під час конденсації пари в середині гладкої труби

На рис. 15 подано залежність дослідних значень втрат тиску на тертя $\Delta P_{mp,q}$ від швидкості пари для адіабатного потоку порівняно з розрахунком за виразом (14). Невелике відхилення дослідних значень від розрахункових зумовлено наявністю двох місцевих опорів на кінцях дослідної ділянки.

На рис. 16 показано дослідні значення перепадів статичного тиску ΔP_q для конденсації водяної пари в середині гладкої труби за $P \approx 0,1$ МПа та різними середніми тепловими потоками.

За однакових w_{ex} зі зростанням теплового потоку q втрати тиску ΔP зменшуються, що відповідає теоретичним розрахункам. Такий характер залежності $\Delta P = f(w_{ex})$ властивий для атмосферного тиску та вакууму.

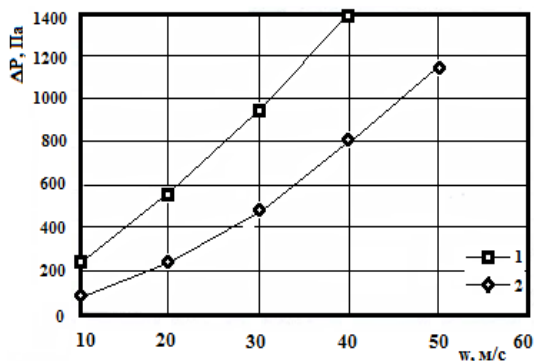


Рис. 15. Залежність втрат тиску від швидкості пари для адіабатного потоку: 1 – розрахунок за виразом (14); 2 – експериментальні дані

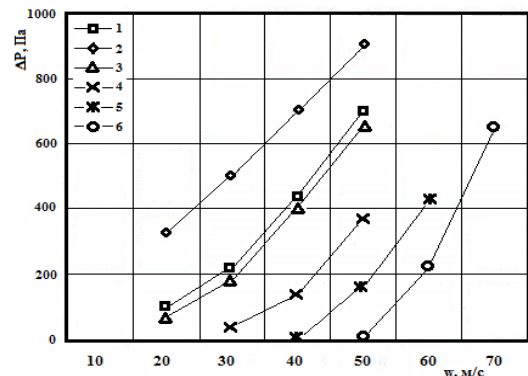


Рис. 16. Залежність перепаду статичного тиску від вхідної швидкості пари:
1 – $q = 24$ кВт/м²; 2 – 55; 3 – 60; 4 – 85; 5 – 102; 6 – 138

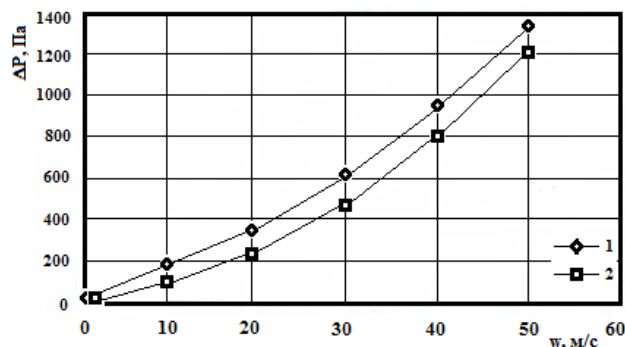


Рис. 17. Залежність перепаду тиску у разі конденсації пари в середині гладкої труби від швидкості пари:
1 – розрахунок за виразом (18), 2 – розрахунок за виразом (14)

На рис. 17 надано залежність дослідних значень втрат тиску $\Delta P_{mp,q}$ від середньої швидкості пари $\bar{w}_n$, нанесено розраховану за виразом (14) лінію $\Delta P_{mp,ad} = f(w_{ex})$. Втрати тиску на тертя $\Delta P_{mp,q}$ у середньому на 20 % вищі, ніж $\Delta P_{mp,ad}$ для адіабатного потоку, густина теплового потоку не впливає на значення $\Delta P_{mp,q}$. Отже, втрати тиску $\Delta P_{mp,q}$ під час конденсації пари в середині горизонтальної труби можна розраховувати за залежністю

$$\Delta P_{mp,q} = 1,2 \Delta P_{mp,ad} \quad (18)$$

де $\Delta P_{mp,ad}$ розраховують за виразом (14).

Висновки

1. Запропоновано карту режимів течії фаз у разі конденсації пари в горизонтальній гладкій трубі, яка враховує вплив сил тяжіння та міжфазного тертя на змінювання меж режимів.

2. Виміряно локальні коефіцієнти тепловіддачі у разі конденсації водяної пари та холодоагенту R141b, що дозволило отримати чітке уявлення стосовно закономірності впливу швидкості пари, густини теплового потоку, натікання конденсату і паровмісту на розподіл локальних за периметром труби коефіцієнтів тепловіддачі.

3. Показано вплив поперечного потоку маси на характер та інтенсивність теплообміну. Встановлено, що зі збільшенням впливу поперечного потоку маси перехід режиму течії фаз від кільцевого до проміжного і далі до стратифікованого відбувається за більш низьких значень чисел Fr (або швидкості пари).

4. Запропоновано залежність для розрахунку втрат тиску під час конденсації пари в середині горизонтальних труб. Показано, що числові значення повної втрати тиску залежать від значень його складових: втрат на тертя, прискорення потоку та місцевих опорів.

Література

1. Середя В. В. Анализ современных карт режимов течения двухфазного потока при конденсации в горизонтальных трубах теплообменных аппаратов / В. В. Середя // Наукові нотатки : міжвузів. зб. Луцьк. нац. техн. ун-ту. – 2013. – № 43. – С. 199–205.
2. Горін В. В. Вибір методики дослідження теплообміну при конденсації хладонів в горизонтальних трубах / В. В. Горін. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2009. – № 1. – С. 213–217.
3. Nusselt W. Die Oberflächenkondensation des Wasserdampfes Zeitschr / W. Nusselt // Ver. Deutch. Ing. – 1916. – Vol. 60 – P. 541–546, 569–575.
4. Кутателадзе С. С. Турбулентный пограничный слой сжимаемого газа / С. С. Кутателадзе, А. И. Леонтьев. – Наука : Изд-во СО АН СССР, 1962. – 180 с.
5. Уоллис Т. Одномерные двухфазные течения / Т. Уоллис. – М. : Мир, 1972. – 440 с.
6. Риферт В. Г. Теплофизика и гидрогазодинамика процессов кипения и конденсации / В. Г. Риферт, А. И. Сардак, А. Н. Тобілевич : сб. тез. Всесоюз. конф. – Рига, 1982. – С. 28–29.
7. Риферт В. Г. Режимы течения фаз и теплообмен при конденсации пара внутри горизонтальных труб / В. Г. Риферт, А. И. Сардак, А. Н. Тобілевич // Известия АН СССР. – Москва : Энергетика и транспорт, 1985. – № 4. – С. 101–109.
8. Риферт В. Г. Ламинаризация конденсации движущегося пара внутри труб и каналов / В. Г. Риферт // Теплообмен-ВІІ : сб. тез. докл. конф. – Минск, 1984. – Т. 4. – С. 30–33.
9. Бребер Г. Описание конденсации чистых компонентов в горизонтальной трубе с использованием критериев режима течения / Г. Бребер, Д. В. Пейлен, Д. Таборек // Теплопередача. – 1980. – № 3. – С. 93–100.
10. Taitel G. A model for predicting flow regime transition in horizontal and near horizontal gas-liquid flow / G. Taitel, A. E. Dukler // AIChE Journal. – 1976, – № 1. – P. 47–55.
11. Тандем Т. Новая карта режимов течения при конденсации в горизонтальной трубе / Т. Тандем, К. Вармап // Теплопередача. – 1982. – Т. 104, № 4. – С. 763–768.
12. Чен Д. Потери напора и толщины жидкой пленки при кольцевом двухфазном пленочном течении и течении с образованием эмульсии / Д. Чен, В. Е. Ибеле // Теплопередача. – 1964. – Т. 86, № 1. – С. 116–125.
13. Хьюитт Д. Кольцевые двухфазные течения / Д. Хьюитт, Н. Нолл-Тейлор – М. : Энергия, 1974. – 407 с.
14. Можаров Я. А. Исследование критической скорости срыва пленки влаги от стенки паропровода / Я. А. Можаров // Теплоэнергетика. – 1959. – № 2. – С. 50–53.
15. Живайкин Л. Я. О толщине пленки жидкости в аппаратах пленочного типа / Л. Я. Живайкин // Химическая промышленность. – 1961. – № 6. – С. 25–29.
16. Кутателадзе С. С. О гидродинамической устойчивости некоторых газожидкостных систем / С. С. Кутателадзе, Ю. Л. Сорокин // Вопросы теплоотдачи и гидравлики двухфазных сред : сб. тр. конф. – Москва : Госэнергоиздат, 1961. – С. 315–324.
17. Нигматулин Б. И. Исследование интенсивности уноса влаги с поверхности жидкой пленки при восходящем течении пароводяной смеси / Б. И. Нигматулин, В. И. Рачков, Ю. З. Шугаев // Теплоэнергетика. – 1981. – № 4. – С. 33–36.
18. Боришанский В. М. Теплоотдача при конденсации пара внутри вертикальных труб и змеевиков / В. М. Боришанский, Д. Л. Волков, Н. И. Иващенко // Труды ЦКТИ. – 1975. – Вып. 131. – С. 122–136.

19. Миропольский З. Л. Исследование теплоотдачи при продольном смывании трубчатых поверхностей конденсирующимся паром / З. Л. Миропольский, Р. И. Шнеерова, В. В. Трепутнев // Теплоэнергетика. – 1980. – № 6. – С. 70–73.
20. Трепутнев В. В. Исследование теплоотдачи и гидравлических сопротивлений при конденсации насыщенного пара в гладких и профилированных каналах : дис. ... кандидата техн. наук / Трепутнев Валентин Владимирович. – М., 1979. – 187 с.
21. Консетов В. В. Экспериментальное исследование теплоотдачи при конденсации водяного пара внутри горизонтальных и слабонаклоненных труб / В. В. Консетов // Теплоэнергетика. – 1960. – № 12. – С. 67–71.
22. Бойко Л. Д. Исследование теплоотдачи при конденсации пара внутри трубы / Л. Д. Бойко // Теплообмен в элементах энергетических установок. – М. : Наука, 1966. – С. 197–212.
23. Риферт В. Г. Теплообмен при конденсации внутри горизонтальных труб. Совершенствование методов расчета / В. Г. Риферт, П. А. Барабаш, В. В. Горин, В. В. Середа // Холодильная техника и технология. – 2015. – Т. 51. – № 6. – С. 26–34.

References

1. Sereda V. V. Analysis of modern flow regimes maps of a two-phase flow during condensation in horizontal tubes of heat exchangers, *Mizhvuzivskyi zbirnik Luts'k natsionalnogo tekhnichnogo universitetu "NAUKOVI NOTATKI"*, 2013, No 43, pp. 199-205.
2. Gorin V.V. Vybir metodyki doslidzhennya teploobminu pry kondensatsii hladoniv v goryzontal'nyh trubah. Vymiruvai'na ta obchyslyvai'na tekhnika v tekhnologichnyh protsesah, 2009, No 1, pp. 213-217.
3. Nusselt, W. Die Oberflächenkondensation des Wasserdampfes, *Zeitschr. Ver. Deutch. Ing.*, 1916, Vol. 60, pp. 541-546 and pp. 569-575.
4. Kutateladze S. S., Leont'ev A.I. Turbulentny'j pogranichny'j sloj szhimaemogo gaza. Novosibirsk, Izd-vo SO AN SSSR, 1962, 180 p/
5. Uollis T. O. Odnomerny'e dvufazny'e tekheniya. Moscow, Mir, 1972, 440 p.
6. Rifert V. G., Sardak A. I., Tobilevich A. N. V kn. Vsesouznaya konferenciya. Teplofizika i gidrogazodinamika processov kipeniya i kondensacii. Riga, 1982, pp. 28-29.
7. Rifert V. G., Sardak A. I., Tobilevich A. N. Regimy' tekheniya faz i teploobmen pri kondensacii para vnutri gorizonta'lnyh trub. *Izv. AN SSSR. Energetika i transport*, 1985, No. 4, pp. 101-109.
8. Rifert V. G. Laminarizaciya kondensacii dvigushhegosya para vnutri trub i kanalov. V. kn. Teplomassobmen VII. Minsk, Vol. 4, 1984, pp. 30-33.
9. Breber, Pejlen, Taborek. Opisaniye kondensacii chistyh komponentov v gorizonta'lnoj trube s ispol'zovaniem kriteriev rezhima tekheniya. *Teploperedacha*, 1980, No. 3, pp. 93-100.
10. Taitel G., Dukler A. E., A model for predicting flow rezhime transition in horizontal and near horizontal gas-liquid flow. –*AIChE Journal*, 1976, 22, N1, p. 47-55.
11. Tandem T., Varmap K. Novaya karta rezhimov tekheniya pri kondensacii v gorizonta'lnoj trube. *Teploperedacha*, Vol. 104, 1982, No. 3, pp. 763-768.
12. Chen, Ibele. Poteri napora i tolshhiny' zhidkoj plenki pri kol'cevom dvufaznom plenocnom techenii i techenii s obrazovaniem e'mul'sii. *Teploperedacha*, Vol. 86, 1964, No. 1, pp. 116-125.
13. H'yu D., Noll-Tejlor N. Kol'cevy'e dvufazny'e tekheniya. Moscow, E'nergiya, 1974, 407 p.
14. Mozharov Ya. A. Issledovanie kriticheskoy skorosti sry'va plenki vlagi ot stenki paroprovoda. *Teploe'nergetika*, 1959, No. 2, pp.50-53.
15. Zhivajkin K. Ya. O tolshhine plenki shhidkosti v apparatah plenocnogo tipa. *Himicheskaya promyshlennost'*, 1961, No. 6, pp. 25-29.
16. Kutateladze S. S., Sorokin Yu. L. O gidrodinamicheskoy ustojchivosti nekotory'h gasozhidkostny'h system. V kn. Voprosy teplootdachi i gidravliki dvufazny'h sred. *Gose'nergoizdat*, 1961, pp. 315-324.
17. Nigmatulin B. I., Rachkov V. I., Shugaev Yu. Z. Issledovanie intensivnosti unosa vlagi s poverhnosti zhidkoj plenki pri voshodyashhem techenii parovodyanoj smesi. *Teploe'nergetika*, 1981, No. 4, pp.33-36.
18. Borishanskij V. M., Volkov D. L., Ivashhenko N. I. Teplootdacha pri kondensacii para vnutri vertikal'ny'h trub i zmeevikov. V kn. *Trudy' CKTI*, 1975, vy'p. 131, pp. 122-136.
19. Miropol'skij Z. L., Shneerova R. I., Treputnev V. V. Issledovanie teplootdachi pri prodol'nom smy'vanii trubchaty'h poverhnostej kondensiruyushimsya parom. *Teploe'nergetika*, 1980, No. 6, pp.70-73.
20. Treputnev V. V. Issledovanie teplootdachi i gidravlicheskih soprotivlenij pri kondensacii nasy'shennogo para v gladky'h i profilirovany'h kanalah : dy's....kandy'data tehn. nauk : Treputnev Valentin Vladimirovich, - M., 1979, - p. 187.
21. Konsetov V. V. E'ksperimental'noe issledovanie teplootdachi pri kondensacii vodyanogo para vnutri gorizonta'lny'h s slabonaklonenny'h trub. *Teploe'nergetika*, 1960, No. 12, p.67-71.
22. Bojko L. D. Issledovanie teplootdachi pri kondensacii para vnutri trub. V kn. *Teploobmen v e'lementah e'nergeticheskikh ustanovok*. Moscow, Nauka, 1966, pp. 197-212.
23. Rifert V.G., Barabash P.A., Gorin V.G., Sereda V.V. Teploobmen pri kondensatsii vnutri gorizonta'lnykh trub. Sovershenstvovanie metodov rascheta. –*Kholodil'nyay tehnik i tekhnologiya*. – 2015, Vol. 51, No 6, pp. 26-34.

Рецензія/Peer review : 23.04.2018 р.

Надрукована/Printed :13.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ВИКОРИСТАННЯ МАЛИХ ГЕС ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ

В статті розглянуто потенціал для розвитку гідроенергетики в Україні. Проаналізовано переваги і недоліки малої гідроенергетики в Україні. Досліджено можливість використання малих ГЕС для забезпечення надійного електропостачання побутових споживачів і підприємств. Використання малих гідроенергетичних установок має багато переваг в порівнянні з великомасштабним виробництвом гідроенергії. ГЕС було визначено як гарну альтернативу генерації традиційної електроенергії. Використання малих ГЕС має значні економічні переваги. Розроблено модель мікроелектромережі з поновлюваним джерелом енергії (малою ГЕС) і зв'язком з розподільною електричною мережею в ПП MATLAB SIMULINK. Запропонована модель мікроелектромережі з поновлюваним джерелом енергії (малою ГЕС) дозволяє проаналізувати нормальні і аварійні режими (трифазне коротке замикання) мікроелектромережі, також дозволяє розглядати різні режими роботи споживачів залежно від характеру навантаження (активне, індуктивне, ємнісне і змішане). Однак на їх надійну роботу впливають різні технічні та економічні фактори, які можна дослідити за допомогою розробленої моделі.

Ключові слова: гідроенергетика, малі гідроелектростанції, гідроагрегат, MATLAB Simulink, мікроелектромережа.

S.O. KULMATYTSKYI

FEA "Novosvit"

A.S. KULMATYTSKA

Vinnytsia National Technical University

USE OF SMALL HYDROPOWER PLANTS FOR IMPROVEMENT OF ELECTRIC SUPPLY OF ENTERPRISES

The article considers the potential for the development of hydropower in Ukraine. The advantages and disadvantages of small hydropower in Ukraine are analyzed. The possibility of using small hydropower stations to provide reliable power supply to household consumers and agro-industrial enterprises was investigated. The use of small hydropower plants has many advantages in comparison with large-scale hydropower production. HPP was identified as a good alternative to generating traditional electricity. The use of small hydropower plants has significant economic advantages. A model of the micropowegrids in the PC MATLAB SIMULINK was developed. The proposed model of micropowegrids with a renewable energy source (small HPP) allows us to analyze the normal and emergency modes (three-phase short circuit) of micropowegrids. Also, allows you to consider the different modes of operation of APC consumers depending on the nature of the load (active, inductive, capacitive and mixed). However, their reliable work is influenced by various technical and economic factors. The offered microelectric network with the consumer in the form of the enterprise is modelled in the environment of Matlab / Simulink. In this work, the hydroelectric power station with one unit of 270 kW power is considered. Power simulation of the operation modes of the microelectric network showed high performance for the stages of change in reference power. The model of the grid is designed in accordance with the previously developed design specification. A suite of SimPowerSystems development tools in the Matlab / Simulink environment is used to implement this project. The developed model is a model of a closed loop, managed to maintain the speed of rotation and the reversal of synchronism. The speed of the turbine rotor is double-controlled with the sprinkler valve and deflector mechanism, and both of these mechanisms are combined into a turbine control module. In addition, the generator excitation system consists of a mechanism of the voltage regulator, which provides control over voltage change based on the V_q and V_d components of the stator voltage. This allows the generator to maintain voltage across the terminal in a wide operating range, supporting synchronization with the network.

Key words: hydropower, small hydroelectric power stations, hydroelectric unit, MATLAB Simulink, micropowegrid.

Вступ

Високі тарифи на електроенергію для промислових підприємств, безперервне зростання територіально рознесених і віддалених від електричних мереж об'єктів малої потужності, розташованих недалеко від водних потоків, призводить до потреби вирішення завдання створення недорогих та ефективних автономних автоматизованих мікро- та малих ГЕС з метою задоволення побутових і виробничих потреб в електроенергії [1, 2]. Висока енергетична щільність потоків води, широкі можливості регулювання їх енергії та відносна тимчасова стабільність режиму стоку більшості річок дозволяють використовувати прості та дешеві системи генерації та стабілізації параметрів виробленої електроенергії. Сучасні досягнення в галузі електромашинобудування, електроніки та трансформаторської техніки дозволяють створювати надійні та недорогі автономні автоматизовані мікро-ГЕС, що забезпечують отримання високоякісної електроенергії за мінімальних вимог до гідроагрегата [3, 4]. В роботах [3, 4] запропоновані нові установки для генерації електроенергії використовуючи енергію малих рівних річок і струмочків.

Україна має потенціал для розвитку гідроенергетики. На Україні налічується понад 63 тис. малих річок і водотоків загальною довжиною 135,8 тис. км, з них близько 60 тис. (95%) дуже маленькі (довжиною менше 10 км), їх сумарна довжина – 112 тис. км (середня довжина такого водотоку – 1,9 км). Більшість (87%) малих річок довжиною менше 10 км мають площу водозбору від 20,1 до 500 км². Найбільшою водоносністю відрізняються річки Західної України [5].

До недоліків малої гідроенергетики, що впливають на її ефективність, можна віднести нестійкість

генерування електроенергії, викликану гідрологічним режимом малих річок, ймовірність аварій на малих гідровузлах в разі паводків. При використанні малих ГЕС для вирішення задач надійного електропостачання підприємств виникає ряд проблем, зокрема недостатня вивченість гідрологічного режиму та стоку малих водотоків; відсутність серійного виробництва обладнання та сервісної служби з його обслуговування, відносно висока в багатьох випадках питома вартість встановленої потужності, недостатньо розроблена нормативно-методична документація, а також технічні умови з проектування, будівництва споруд, монтажу обладнання [3].

Мета і задачі роботи

Тому актуальними є задачі вдосконалення існуючих і розробка нових моделей роботи малих ГЕС з використанням сучасних комп'ютерних програм і досвіду інших країн, як на етапі проектних робіт, так і в режимі реального часу їх роботи, що дасть змогу оптимізувати їх режими роботи і налагодити технологічні процеси агропромислових підприємств, забезпечуючи максимальне використання енергії поновлюваних джерел.

Аналіз попередніх досліджень

Світ вступає на новий етап з виробництва енергії. Основна увага приділяється скороченню викидів CO₂, підвищенню енергетичної безпеки та покращенню стійкості і надійності. Однак реалізація цього потребує додаткових коштів, які частково буде сплачувати споживач.

Тому генерація енергії повинна бути економічно обґрунтованою. Попит на нафтогазові ресурси продовжує зростати, і чітко прослідковується невизначеність щодо довготривалої можливості використання нафти та газу, причиною якої є не тільки екологічні проблеми, а й політичні конфлікти. На додаток до цього, після подій у Фукусімі, багато країн відмовилось від найдешевшої атомної електроенергії. Крім того, проблеми з утилізацією відходів та зняття з експлуатації все ще існують, а витрати продовжують зростати. Хоча вугілля є дешевою альтернативою, викиди парникових газів надзвичайно високі, і це не може бути рішенням для розвитку довгострокової енергетики. Тому глобальне виробництво енергії має значно більше використовувати нові джерела поновлюваних джерел енергії та зосереджуватись більше на енергоефективності. Однак більшість відновлюваних джерел не є економічно життєздатними, що робить їх дуже непривабливими для країн, які розвиваються. Гідроенергетика є економічно вигідним джерелом відновлюваної енергії. Також гідротехнічна технологія є досить надійною і перевіреною для довгострокової енергетики. На розвиток глобального виробництва гідроенергії впливає відсутність потенційних об'єктів, значні капітальні витрати, тривалий період окупності тощо. Проте ці проблеми вирішуються з розвитком малих гідроенергетичних потужностей [6–8], які останнім часом набирають обертів. Зокрема, існує великий інтерес до запуску мікро-, міні- та малих ГЕС. Економічна привабливість мікро-, міні- та малих ГЕС багато в чому залежить від обраного місця та його гідрологічних характеристик. Розмір системи та параметри проектування повинні бути ретельно вибрані для оптимізації економічної експлуатації електростанції. Зазвичай надійна і економічно вигідна експлуатація річкових електростанцій вимагає ефективного використання усього діапазону потоку води.

Проблеми і перспективи малої гідроенергетики України розглянуті в доповіді Нікіторовича А.В. «Малые гидроэлектростанции Украины: прошлое, настоящее, будущее», зокрема зазначено, що у 70-і – 80-і роки з розвитком великих ТЕС, атомних і гідроелектростанцій, зростанням централізації енергопостачання, а також низькими цінами на паливо і електроенергію в відомствах і підприємствах, на балансі яких перебували МГЕС, інтерес до них зник, почалася їх консервація та стихійний демонтаж [9].

На думку автора розвиток малої гідроенергетики України передбачає: оновлення та реконструкцію існуючих і діючих міні-ГЕС; будівництво нових міні-ГЕС в районах децентралізованого енергопостачання; будівництво міні-ГЕС в регіонах централізованого енергопостачання на наявних перепадах водосховищ і видатків; нове будівництво з концентрацією напору.

На рис. 2 показана відновлена ЗЕА «Новосвіт» ГЕС «Сандрацька», яка знаходиться в с. Широка Гребля Вінницької області.



Рис. 1. ГЕС «Сандрацька»

В аналітичній доповіді «Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроенергетики України» авторів Суходолі О.М., Сидоренко А.А., Бегуна С.В., Білухи А.А., зазначено: «Активізації

розвитку МГЕС останніми роками сприяло запроваджене в Україні з 2009 року стимулююче законодавство, зокрема введення стимулюючих «зелених тарифів» на закупівлю електроенергії від виробників чистої енергії, зокрема малих ГЕС. Даний стимулюючий механізм запроваджений державою значно підвищити інтерес приватних інвесторів до відновлення об'єктів малої гідроенергетики. Переважно робота з відновлення малих ГЕС була проведена в Вінницькій, Черкаській, Хмельницькій, Тернопільській та Житомирській областях [10].

Тому турбіна та генераторні агрегати повинні мати такі технічні параметри, що дозволять працювати з високою ефективністю у всьому діапазоні. На додаток до цього, для підтримки синхронізму потрібен механізм управління лопатями гідроагрегату для річок з різною швидкістю потоку. В даній роботі модель енергосистеми розроблена в середовищі Matlab/Simulink [11] з відповідною технологією керування. Отримана в результаті енергетична модель моделі може використовуватись для імітації різних режимів роботи гідроагрегатів ГЕС.

В статті авторів Анурадха Щієсінге і Лой Лей Лая розглядається проект побудови малої ГЕС на острові Шрі-Ланка [6]. Вибране місце для побудови ГЕС розташоване в вологій зоні високогір'я Шрі-Ланки, що забезпечує високий рівень необхідних опадів, а середні опади на об'єкті проекту приблизно 4400 мм. Природний підйом землі використовується для збільшення ККД.

Вибір гідроагрегату

Вибір гідроагрегату визначається типом річки. Внаслідок великого діапазону зміни швидкості потоку гідроагрегат не зможе працювати у всьому діапазоні потоку. Тому для розрахунку потенціалу генерації електроенергії проекту потрібно обирати різні діапазони потоку. Ефективною вважається конструкція турбіни, що здатна працювати при мінімальному об'ємі потоку кожного діапазону і вибирається як одна п'ята частина максимального. На додаток до цього, екологічний викид $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ вибирається для підтримки навколишнього середовища між споживачем та електростанцією. Мінімальний коефіцієнт витрат для роботи турбіни становить $0,25 \text{ м}^3/\text{с}$, а після врахування потоку навколишнього середовища мінімальна швидкість потоку для виробництва енергії складає $0,75 \text{ м}^3/\text{с}$. Загальна ефективність системи 80 % очікується на основі наявних на сучасних ринках гідроелектромашин. Номінальна вихідна потужність для різних діапазонів потоку розраховується з наступного рівняння:

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (1)$$

де η, ρ, g – коефіцієнти корисної дії (турбіни, генератора, механічної передачі);

P – потужність;

η – ефективність системи;

ρ – щільність води ($\text{кг}/\text{м}^3$);

g – гравітаційна стала;

Q – об'ємна витрата води ($\text{м}^3/\text{с}$);

H – висота напору, м.

Пікове виробництво електроенергії для системи будь-якого розміру одержується з наступного рівняння:

$$E_{\max} = P_{\max} \cdot t, \quad (2)$$

$E_{\max}$ – максимальне значення електроенергії;

$P_{\max}$ – максимальне значення потужності;

t – кількість годин на рік, коли система забезпечує максимальну генерацію.

Очікувана генерація енергії протягом року, як правило, є набагато меншою, ніж максимальна. Очікувана річна генерація енергії розраховується на основі щорічної зміни швидкості потоку. Орієнтовна середня генерація енергії на рік для будь-якої системи обчислюється з наступного рівняння:

$$E_{\text{avg}} = \frac{1}{100} \sum_{k=n_1}^{n_n} P_k \cdot t \{N_k - N_{k+1}\}, \quad (3)$$

N_k – абсолютна ймовірність заданої витрати.

Коефіцієнт потужності електростанції є показником використання її загального потенціалу. Він також відомий як співвідношення середньої очікуваної генерації енергії до потенційної максимальної генерації енергії. Коефіцієнт розраховується для кожного діапазону з використанням наступного рівняння:

$$C_f = \frac{1}{100} \left\{ \frac{\sum_{k=n_1}^{n_n} P_k \cdot t \{N_k - N_{k+1}\}}{P_{\max} \cdot t} \right\} \cdot 100\% \quad (4)$$

Модель мікроелектромережі в середовищі Matlab / Simulink з використанням елементів SimPowerSystems

Незалежні малі електростанції мають юридичне зобов'язання підтримувати безпеку та якість електроенергії в межах норми. Основні компоненти розподільчих пристроїв включають основний вимикач, який використовується для підключення або відключення генератора від електромережі. Силові трансформатори та трансформатори струму, що використовуються для перетворення високих напруг і

струмів на більш контрольовані рівні для вимірювання. Заземлення здійснюється відповідно до вимог, встановлених оператором мережі. Вимірювальне обладнання (лічильники) встановлюється в точці підключення до розподільної мережі. Для удосконалення конструктивного виконання гідроагрегатів ГЕС і забезпечення ефективної роботи запропоновано використовувати імітаційну модель роботи ГЕС. Запропонована модель може використовуватись на етапі проектних робіт, а може адаптуватись і використовуватись в режимі реального часу. Основна перевага даного проекту – це моделювання всіх режимів роботи гідроагрегатів як за прогнозованими, так і реальними даними. Це дасть змогу зменшити шкідливий вплив всіх факторів, і підібрати оптимальні параметри роботи гідроагрегатів.

В побудованій моделі використовується турбіна вертикального виконання. Потужність обладнання – 270 кВт.

Окрім загальної моделі енергосистеми, навантаження на 15 кВт розміщується на стороні низької напруги трансформатора для моделювання споживання енергії у будинку (побутовий споживач) та навантаження 120 кВт (підприємство АПК), а джерело напруги трифазного струму для зовнішньої розподільної мережі. Навантаження підприємства АПК може бути активним, індуктивним, ємнісним, змішаним залежно від електрообладнання, що використовується на підприємстві (рис. 2 і рис. 3). Також на виході трансформатора розміщується блок, який моделює трифазне КЗ.

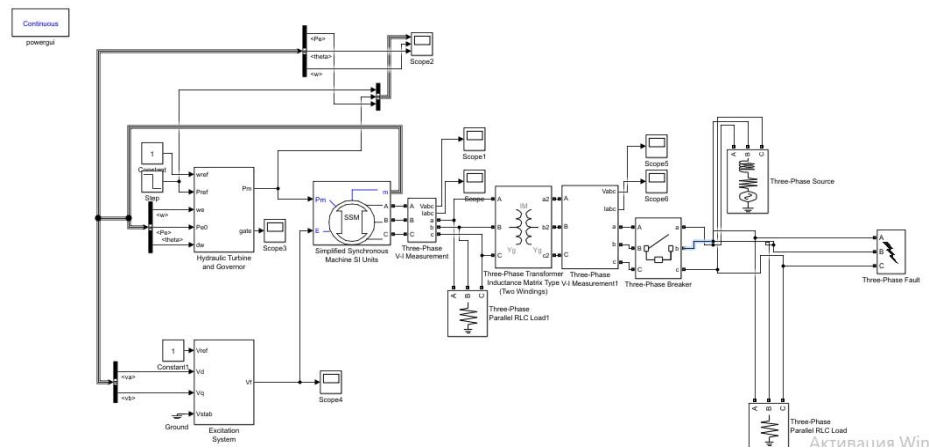


Рис. 2. Схема електричної мережі з побутовим споживачем і споживачем АПК (активне навантаження)

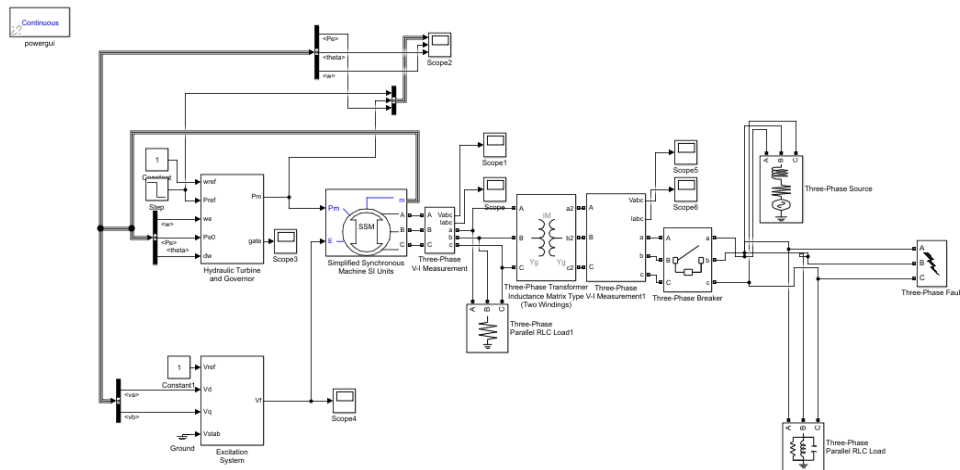


Рис. 3. Схема електричної мережі з побутовим споживачем і споживачем у вигляді підприємства (активно-індуктивно-ємнісне навантаження)

Модель енергосистеми розроблена відповідно до розробленої раніше конструктивної специфікації. Набір інструментів розробки SimPowerSystems в середовищі Matlab/Simulink використовується для реалізації цього проекту [11]. Розроблена модель являє собою модель замкнутого циклу, керованого для підтримки швидкості обертання і створення синхронізму. Швидкість ротора турбіни подвійно контролюється за допомогою спринклерного клапана та дефлекторного механізму, і обидва ці механізми об'єднуються в модуль керування турбіною. Крім того, генераторна система збудження складається з механізму регулятора напруги, який забезпечує контроль за зміною напруги на основі V_q та V_d компонентів напруги статора. Це дозволяє генератору підтримувати напругу на терміналі в широкому робочому діапазоні, підтримуючи синхронізм із мережею.

Висновки

Малі ГЕС є стабільним та економічно вигідним джерелом енергії. Це гарне рішення глобальної енергетичної проблеми. Зокрема, останнім часом великий інтерес викликали малі і мікро-ГЕС річкового типу. Запропонована мікроелектромережа зі споживачем у вигляді підприємства моделюється в середовищі Matlab/Simulink. В роботі розглянута ГЕС з одним агрегатом потужністю 270 кВт. Енергетична симуляція режимів роботи мікроелектромережі показала високу продуктивність для етапів зміни опорної потужності.

Література

1. Свит П. П. Разработка микро-ГЭС с асинхронными генераторами для сельскохозяйственных потребителей : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве / Павел Петрович Свит. – Барнаул, 2007. – 246 с.
2. Ковальчук О. ГЕС в локальних електричних системах з розосередженим генеруванням / О. Ковальчук, О. Нікіторович, П. Лежнюк, В. Кулик // Гідроенергетика України. – 2011. – № 1. – С. 54–58.
3. Пат. № 69829, Україна, МПК51 H02K 17/00. Гідроелектроенергетична установка «СТРУМОК» / Янович В.П., Жданович Л.О., Верля Н.Й., Дунська Т.Л. (Україна) ; заявник та патентовласник ВНАУ «Він. нац. аграр. ун.-т». – № u 2011 13999 ; заявл. 28.11.11 ; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9. – 6 с.
4. Пат. № 61261, Україна, МПК51 F03G 3/00, B60K 16/00. Наплавна гідроелектроенергетична установка «ЧАЙКА» / Янович В.П., Жданович Л.О. (Україна) ; заявник та патентовласник ВНАУ «Він. нац. аграр. ун.-т ». – № u 2011 00278 ; заявл. 10.01.11 ; опубл. 11.07.2011, Бюл. № 13. – 4 с.
5. Ясинский В. А. Современное состояние и перспективы развития малой гидроэнергетики в странах СНГ [Электронный ресурс] / В. А. Ясинский, А. П. Мироненков, Т. Т. Сарсембеков // Отраслевой обзор. – 2011. – № 4. – 36 с. – Режим доступа : http://www.cawater-info.net/library/rus/eabr_4.pdf
6. Anuradha Wijesinghe. Small Hydro Power Plant Analysis and Development / Anuradha Wijesinghe, Loi Lei Lai // Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), 2011 4th International Conference on 6-9 July 2011. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5993857/authors>. – DOI: 10.1109/DRPT.2011.5993857
7. British Hydropower Association. Hydro Facts. URL: http://www.british-hydro.org/hydro_facts.html
8. Small Hydro Power Handbook. URL: <http://pakpas.org/HYDRO.3/1.SHEPP/hydro-handbook.pdf>
9. Нікіторович А.В. Малые электростанции Украины: прошлое, настоящее, будущее [Электронный ресурс] / А.В. Нікіторович. – 2011. – Режим доступа : http://www.niss.gov.ua/public/File/2014_table/0620_pres3.pdf
10. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроенергетики України : аналіт. доп. / О. М. Суходоля, А. А. Сидоренко, С. В. Бегун, А. А. Білуха. – К. : НІСД, 2014. – 112 с. – (Сер. «Національна безпека», вип. 8).
11. Дьяконов В.П. MATLAB и Simulink в электроэнергетике: справочник / Дьяконов В.П., Пенков А.А. – http://www.techbook.ru/book_list.php?str_author=Пенков%20А.А. М. : «Горячая линия – Телеком», 2009. – 816 с.

References

1. Svit P. P. Razrabotka mikro-GES s asinhronnyimi generatorami dlya selskohozyaystvennykh potrebiteley : dis. ... kand. tehn. nauk : spets. 05.20.02 – Elektrotehnologii i elektrooborudovanie v selskom hozyaystve / Pavel Petrovich Svit. – Barnaul, 2007. – 246 s.
2. Kovalchuk O. HES v lokalnykh elektrychnykh systemakh z rozoseredzhenym heneruvanniam / O. Kovalchuk, O. Nikitorovich, P. Lezhniuk, V. Kulyk // Hidroenerhetyka Ukrainy. – 2011. – № 1. – S. 54–58.
3. Pat. № 69829, Ukraina, MPK51 H02K 17/00. Hidroelektroenerhetychna ustanovka «STRUMOK» / Yanovych V.P., Zhdanovych L.O., Verlia N.I., Dunska T.L. (Ukraina) ; zaiavnyk ta patentovlasnyk VNAU «Vin. nats. ahrar. un.-t». – № u 2011 13999 ; zaiavl. 28.11.11 ; opubl. 10.05.2012, Biul. № 9. – 6 s.
4. Pat. № 61261, Ukraina, MPK51 F03G 3/00, B60K 16/00. Naplavna hidroelektroenerhetychna ustanovka «ChAIKA» / Yanovych V.P., Zhdanovych L.O. (Ukraina) ; zaiavnyk ta patentovlasnyk VNAU «Vin. nats. ahrar. un.-t ». – № u 2011 00278 ; zaiavl. 10.01.11 ; opubl. 11.07.2011, Biul. № 13. – 4 s.
5. Yasinskiy V. A. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya maloy gidroenergetiki v stranah SNG [Elektronnyiy resurs] / V. A. Yasinskiy, A. P. Mironenkov, T. T. Sarsembekov // Otrasevoy obzor. – 2011. – № 4. – 36 s. – Rejim dostupa : http://www.cawater-info.net/library/rus/eabr_4.pdf
6. Anuradha Wijesinghe. Small Hydro Power Plant Analysis and Development / Anuradha Wijesinghe, Loi Lei Lai // Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), 2011 4th International Conference on 6-9 July 2011. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5993857/authors>. – DOI: 10.1109/DRPT.2011.5993857
7. British Hydropower Association. Hydro Facts. URL: http://www.british-hydro.org/hydro_facts.html
8. Small Hydro Power Handbook. URL: <http://pakpas.org/HYDRO.3/1.SHEPP/hydro-handbook.pdf>
9. Nikitorovich A.V. Malye elektrostantsii Ukrainyi: proshloe, nastoyaschie, buduschie [Elektronnyiy resurs] / A.V. Nikitorovich. – 2011. – Rejim dostupa : http://www.niss.gov.ua/public/File/2014_table/0620_pres3.pdf
10. Suchasnyi stan, problemy ta perspektivy rozvytku hidroenerhetyky Ukrainy : analit. dop. / O. M. Sukhodolia, A. A. Sydorenko, S. V. Biehn, A. A. Bilukha. – K. : NISD, 2014. – 112 s. – (Ser. «Natsionalna bezpeka», vyp. 8).
11. Dyakonov V.P. MATLAB i Simulink v elektroenergetike: spravochnik / Dyakonov V.P., Penkov A.A. – M. : «Goryachaya liniya – Telekom», 2009. – 816 s.

Рецензія/Peer review : 24.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 12.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

О.М. ПИЛИПЕНКО, О.В. БАТРАЧЕНКО

Черкаський державний технологічний університет

І.М. ЛИТОВЧЕНКО

Національний університет харчових технологій

ЗМЕНШЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО ОПОРУ КАБІНИ ВАНТАЖНОГО АВТОМОБІЛЮ

Підвищення вартості пального та прийняття більш жорстких екологічних норм в розвинених країнах світу висуває вимогу зменшення споживання пального автотранспортом. Особливо гостро ця проблема постає для автопотягів, яким властиві значні енергоємність та дальність перевезень. Ефективним шляхом підвищення цієї проблеми є зменшення аеродинамічного опору автопотягів. Значний інтерес представляють дані, згідно з якими відмова від застосування дзеркал заднього виду в конструкції автопотягу дозволяє економити до 6% палива. Дана цифра бачиться значною, зважаючи на малу фронтальну площу дзеркал в порівнянні з кабіною та напівпричепом. Провідні автовиробники замість дзеркал пропонують використовувати відеокамери заднього виду. Метою статті є зменшення аеродинамічного опору кабіни сидельного тягача шляхом обґрунтування місця розташування цифрових пристроїв заднього виду. За допомогою чисельного моделювання встановлено, що причиною високого аеродинамічного опору дзеркал заднього виду є їх розташування в зоні звуження набігаючого на кабіну потоку повітря, і, як наслідок, в зоні більшої до 4-х разів його швидкості. Запропоновано розміщення відеокамер заднього виду позаду бокових дверей кабіни, що забезпечує зменшення динамічного тиску набігаючого на них потоку повітря до 100 разів, і, як наслідок, забезпечує їх мінімальний аеродинамічний опір. Шляхом чисельного моделювання підтверджено ефективність запропонованого технічного рішення.

Ключові слова: автопотяг, сидельний тягач, аеродинамічний опір, відеокамери заднього виду.

О.М. PILIPENKO, O.V. BATRACHENKO

Cherkassy State Technological University

I.M. LITOVCHENKO

National University of Food Technologies

REDUCING AERODYNAMIC DRAG OF A SEMI-TRUCK CAB

The rising cost of fuel and the adoption of more stringent environmental regulations in the developed world the demand of reducing the fuel consumption of vehicles. Especially sharply this problem arises for trains, which have significant energy content and transportation distance. Effective way to improve this problem is to reduce the aerodynamic drag of trucks. The total aerodynamic resistance of the train due to many factors. Of considerable interest are data showing that the rejection of the use of mirrors in design of the train allows you to save up to 6% fuel. This figure appears significant, despite the small frontal area in comparison with cabin and trailer. Leading manufacturers offer to use instead of mirrors, rear view camera. The concept car Aero Liner MAN has video cameras that are installed in locations standard location of rear view mirrors on the mounts with low stiffness. Camera car Renault Optifuel installed on the holders of increased rigidity, which, however, have a high resistance, the location of cameras standard. The following modification of this truck the Renault Optifuel LAB 2 has modified the camcorder's streamlined shape, they are located above the side doors of the cab, but also near the windshield. A similar placement of cameras have capoten and Buscopan Volvo trucks Concept Truck. The purpose of this article is to reduce aerodynamic drag cab of the truck tractor by study of the location of digital devices. Numerical simulation of the aerodynamics of the trailer was performed using the software complex FlowVision. The flow around the sides of the cockpit to clearly distinguish three characteristic zones: the zone of air flow moving at a speed of 25 m/s; the zone of high air velocity (up to 40 m/s); zone of substantially reduced speed (about 10 m/s). With the help of numerical modelling it is established that the cause of the high aerodynamic drag of the rear view mirrors is their location in a zone of narrowing which is incident on the cab air flow, and, as a consequence, the larger area up to 4 times its velocity. The proposed placement of cameras rear view behind side doors of the cab that provides a reduction of dynamic pressure impinging on them flow of air up to 100 times and, consequently, provides minimal aerodynamic drag. Numerical simulation confirmed the effectiveness of the proposed technical solution. The direction of future research may be experimental verification of the obtained results.

Keywords: road train, truck, aerodynamic drag, rear view camera.

Постановка проблеми

Підвищення вартості пального та прийняття більш жорстких екологічних норм в розвинених країнах світу висуває вимогу зменшення споживання пального автотранспортом. Особливо гостро ця проблема постає для автопотягів, яким властиві значні енергоємність та дальність перевезень. Ефективним шляхом підвищення цієї проблеми є зменшення аеродинамічного опору автопотягів [1–3].

Загальний аеродинамічний опір автопотягу обумовлюється багатьма чинниками. Значний інтерес представляють дані [4], згідно з якими відмова від застосування дзеркал заднього виду в конструкції автопотягу дозволяє економити до 6% палива. Дана цифра бачиться значною, зважаючи на малу фронтальну площу дзеркал в порівнянні з кабіною та напівпричепом.

Провідні автовиробники замість дзеркал пропонують використовувати відеокамери заднього виду. Концепт-кар MAN Aero Liner має відеокамери, які встановлені в місцях стандартного розташування дзеркал заднього виду на тримачах з малою жорсткістю. Відеокамери автомобілю Renault Optifuel встановлені на тримачах підвищеної жорсткості, які, однак, володіють підвищеним опором, місце розташування камер стандартне. Наступна модифікація цього автопотягу Renault Optifuel LAB 2 має видозмінені відеокамери обтічної форми, вони розташовані вище бокових дверей кабіни, але також біля самого лобового скла. Аналогічне розміщення відеокамер мають капотні та безкапотні сидельні тягачі Volvo Concept Truck.

На думку авторів статті, описане розміщення відеокамер заднього виду не сприяє максимально

можливого зменшенню їх аеродинамічного опору. Актуальним є розробка нового технічного рішення, яке б дозволило суттєво зменшити аеродинамічний опір відеокамер заднього виду вантажних автомобілів.

Аналіз останніх джерел

В роботах [1–3] наведені узагальнені числові дані впливу окремих чинників на загальний аеродинамічний опір автопотягу. Авторами [5, 6] представили результати моделювання аеродинаміки автопотягу стандартної будови. Авторами роботи [7] було досліджено ефективність застосування задніх спойлерів. У відомих роботах не пояснено природу високого аеродинамічного опору дзеркал заднього виду автопотягів. Також не запропоновано технічних рішень, які б дозволяли суттєво зменшити аеродинамічний опір відеокамер заднього виду.

Метою статті є зменшення аеродинамічного опору кабіни сідельного тягача шляхом обґрунтування місця розташування цифрових пристроїв заднього виду.

Виклад основного матеріалу

В статті вирішувались наступні завдання:

- за допомогою чисельного моделювання дослідити аеродинаміку сідельного тягача та встановити причини високого аеродинамічного опору дзеркал заднього виду;
- запропонувати таке розміщення відеокамер заднього виду на кабіні сідельного тягача, яке б забезпечувало їх мінімальний аеродинамічний опір;
- засобами чисельного моделювання оцінити ефективність запропонованих технічних рішень.
- Прийняті наступні допущення: об'єктом досліджень обрано 3D-модель автопотягу марки «IVECO New Stralis XP», вплив геометричних параметрів кабіни на особливості її аеродинаміки не враховувався, автопотяг рухається по прямолінійній плоскій поверхні.

Дослідження ефективності застосування розробленого способу проводилось шляхом чисельного моделювання аеродинаміки автопотягу із використанням програмного комплексу FlowVision та SolidWorks Flow Simulation. Базовими в математичній моделі були 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. У розрахунку були використані наступні параметри: густина повітря $1,2 \text{ кг/м}^3$; температура повітря $t=20^\circ\text{C}$; швидкість набігаючого повітря 25 м/с (відповідає руху автопотягу зі швидкістю 90 км/год).

На рис. 1 показано результати моделювання – швидкість повітря при обтіканні автопотягу. В контексті мети даної роботи найбільший інтерес представляє зона кабіни сідельного тягача. При обтіканні бокової сторони кабіни чітко виділяються три характерні зони (рис. 1): 1 – це зона набігаючого потоку повітря, він рухається зі швидкістю 25 м/с ; 2 – зона підвищеної швидкості повітря (до 40 м/с); 3 – зона суттєво зменшеної швидкості (близько 10 м/с).

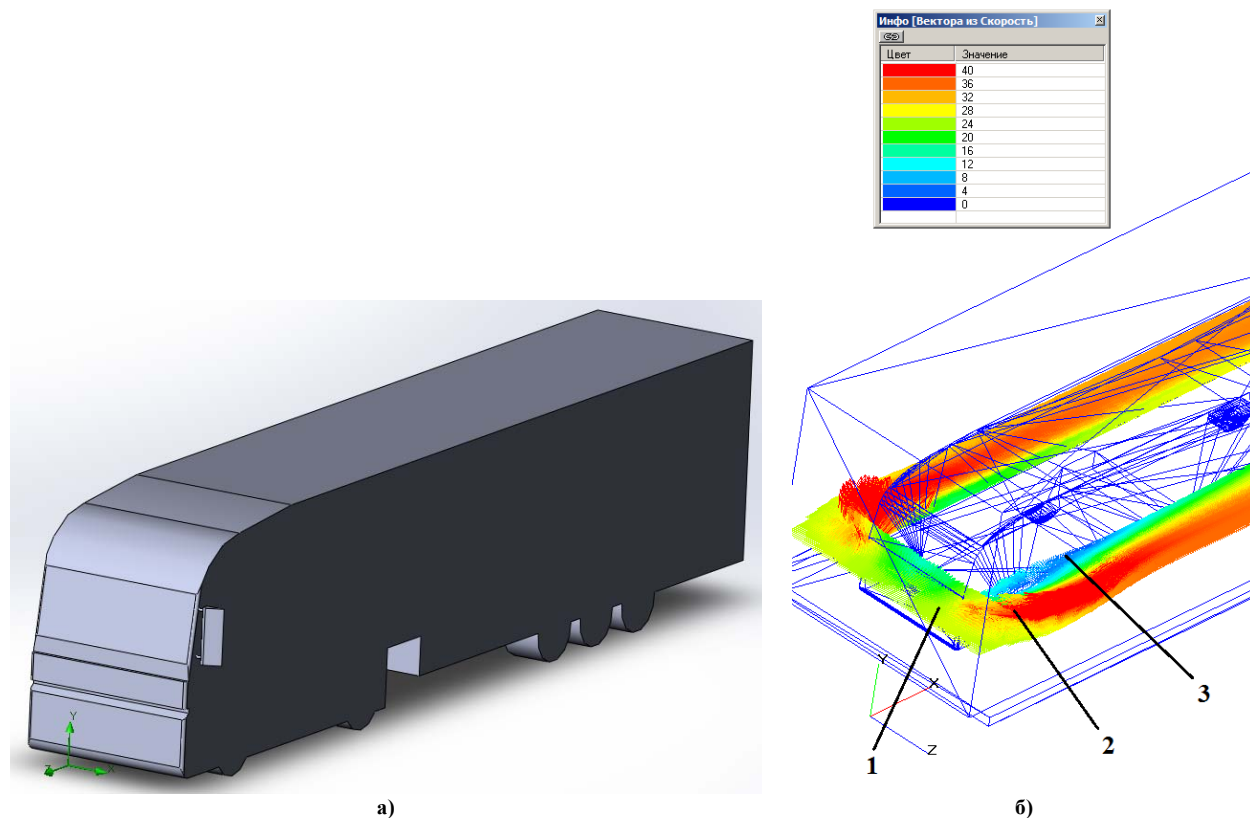


Рис. 1. 3D-модель автопотягу IVECO New Stralis XP та результати визначення швидкості повітря при її обтіканні:
а) 3D-модель автопотягу; б) результати визначення швидкості повітря, м/с

Проведені нами дослідження дозволили встановити, що класичне розміщення як дзеркал заднього виду, так і відеокамер заднього виду не сприяє максимально можливому зменшенню аеродинамічного опору цих елементів.

Найбільший аеродинамічний опір властивий дзеркалу заднього виду, яке має класичне розміщення на кабіні автомобілю (рис. 2, б). Це обумовлено розташуванням дзеркала в зоні звуження повітряного потоку і, як наслідок, в зоні підвищеної його швидкості. Швидкість потоку в даній зоні є більшою в 1,6 рази в порівнянні з вільним обтіканням дзеркала (рис. 2, а). Описані вище концепт-кари оснащені сучасними відеокамерами заднього виду, однак місце їх розташування залишилось незмінним (рис. 2, в).

Нами пропонується розташування відеокамер заднього виду в характерній зоні пониженої (до 3-4 разів) швидкості повітряного потоку, яка утворюється при обтіканні кабінки автомобілю (рис. 2, г). В такому разі турбулізація повітряного потоку та аеродинамічний опір відеокамер заднього виду будуть мінімальними. Для належного огляду зони біля передніх коліс доцільно передбачити також і фронтальні камери.

На рис. 3 показані результати моделювання аеродинаміки кабінки стандартної будови із дзеркалом заднього виду. На одній боковій стороні кабінки показано особливості обтікання дзеркала, на другій – кабінки без дзеркала. Як видно з рис. 3, наявність дзеркала спричинює підвищення швидкості набігаючого потоку повітря в даній зоні з 90 км/год до 144 км/год. Дзеркало знаходиться в зоні найбільшого лобового тиску повітря (рис. 3, б). Отже, значна економія палива при відмові від використання дзеркал заднього виду в конструкції автопотягу досягається завдяки тому, що вони розташовуються, по суті, в найгіршому з точки зору аеродинаміки місці автомобіля.

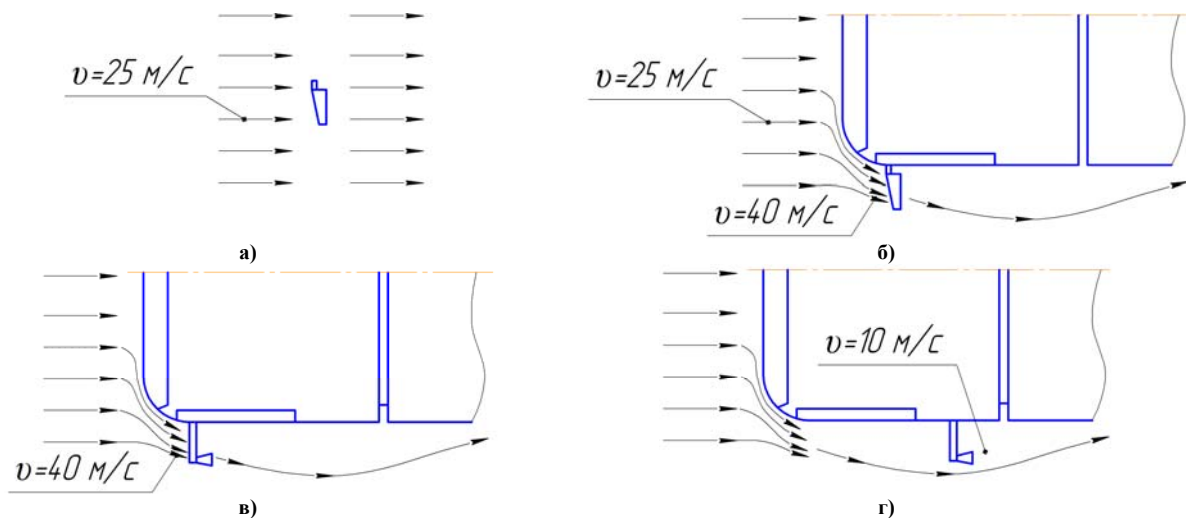


Рис. 2. Схеми розташування пристроїв заднього виду та їх обтікання повітряним потоком (кабіна сідельного тягача, вид зверху)

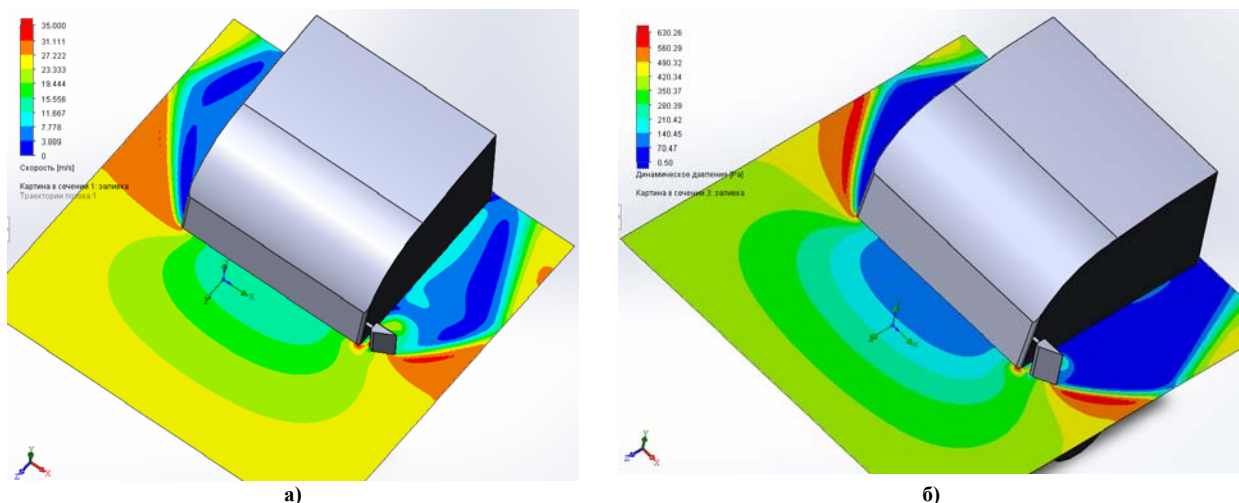


Рис. 3. Результати моделювання аеродинаміки повітряного потоку при обтіканні кабінки із дзеркалами заднього виду: а) швидкість, м/с; б) динамічний тиск, Па

На рис. 4 показано аеродинамічні властивості кабінки при використанні відеокамер заднього виду. З однієї сторони кабінки камера розташована як у відомих концепт-карах, спереду (конструкція камер відповідає конструкції камер автопотягу Renault **Optifuel** LAB 2). З іншої сторони кабінки камера розташована за розробленим рішенням технічним рішенням позаду бокових дверей кабінки (відповідно до рис. 2, г).

Як видно з рис. 4, запропоноване розміщення відеокамери призводить до зменшення швидкості набігаючого потоку на неї у 3 рази, зменшення тиску повітря до 100 разів та зменшення до 2-х разів турбулізації повітряного потоку. Все означене доводить перевагу запропонованого розміщення камер позаду бокових дверей кабіни автопотягу.

Запропоновані нами конструктивні зміни відповідають положенням теорії технічних систем, згідно яких новому принципу дії елемента має відповідати новий порядок його розміщення чи спосіб використання. На розроблене рішення подано заявку на винахід [8].

Слід відмітити, що аналогічне, заднє, розташування відеокамер має сучасний електрокар Tesla Semi [9], який вперше був представлений світовій спільноті 16 листопада 2017 р. Технічне ж рішення, наведене у цій статті, було розроблено раніше і його опис також був опублікований раніше [8, 10].

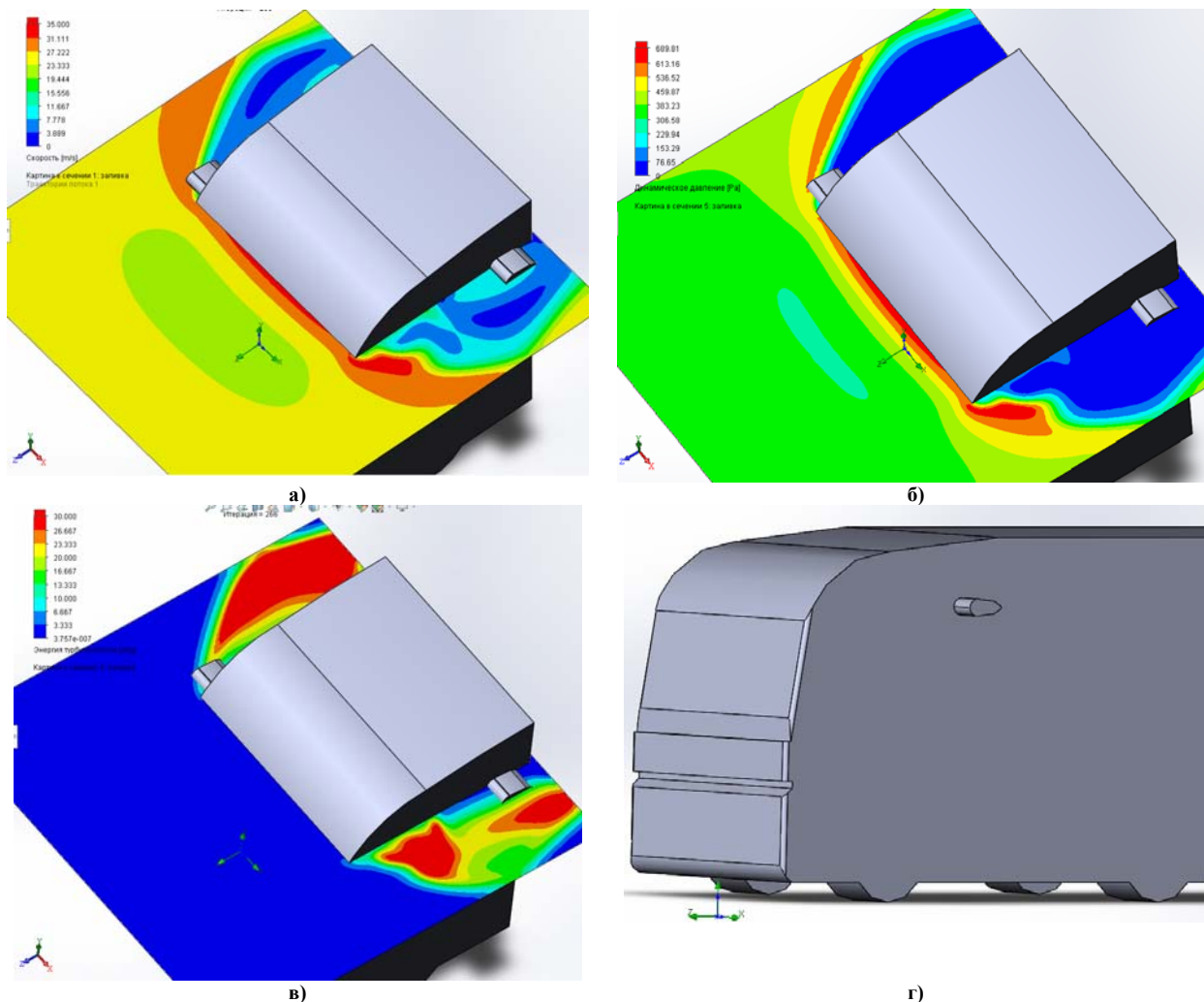


Рис. 4. 3D-моделі кабіни сідельного тягача та результати моделювання аеродинаміки повітряного потоку при обтіканні кабіни з цифровими відеокамерами заднього виду: а) швидкість, м/с; б) динамічний тиск, Па; в) енергія турбулентності, Дж/кг; г) 3D-модель кабіни сідельного тягача із розташуванням відеокамери заднього виду за розробленим технічним рішенням

Висновки

За допомогою чисельного моделювання встановлено, що причиною високого аеродинамічного опору дзеркал заднього виду є їх розташування в зоні звуження набігаючого на кабіну потоку повітря, і, як наслідок, в зоні більшої до 4-х разів його швидкості.

Запропоновано розміщення відеокамер заднього виду позаду бокових дверей кабіни, що забезпечує зменшення динамічного тиску набігаючого на них потоку повітря до 100 разів, і, як наслідок, забезпечує їх мінімальний аеродинамічний опір. Шляхом чисельного моделювання підтверджено ефективність запропонованого технічного рішення.

Напрямок подальших досліджень може бути експериментальна перевірка отриманих результатів.

Література

1. Евграфов А.Н. Аэродинамика автомобиля / А. Н. Евграфов. – М. : МГИУ, 2010. – 356 с.
2. Belzile Marc. Review of Aerodynamic Drag Reduction Devices for Heavy Trucks and Buses. Technical Report. Canada, 2012. URL: www.tc.gc.ca.
3. 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.

4. Чехута В. Дальнобойная перспектива по-европейски / В. Чехута // Автотрак. – 2014. – № 3. – С. 42–48.

5. Пилипенко О. М. Моделювання аеродинаміки сидельного автопотягу / О. М. Пилипенко, О. В. Батраченко, І. М. Литовченко // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький : ХНУ, 2017. – № 2. – С. 27–34.

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

7. Пилипенко О. М. Дослідження аеродинамічних властивостей задніх спойлерів сидельних автопотягів / О. М. Пилипенко, О. В. Батраченко, І. М. Литовченко // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький : ХНУ, 2017. – № 3.

8. Пат. на винахід Україна, МПК (2012) B 62B 35/00. Вантажний автомобіль / Пилипенко О. М., Батраченко О. В. ; заявник і власник патенту Батраченко О. В. – № a2011709862 ; заявл. 11.10.2017.

9. Жигульский Д. Tesla Semi: он существует! / Д. Жигульский // Автотрак. – 2017. – № 5. – С. 47–53.

10. Батраченко О. В. Вплив розташування пристроїв заднього виду на аеродинамічний опір вантажного автомобіля / О. В. Батраченко // Тези Міжнар. науково-практ. конф. «Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців». – 19–20 жовтня 2017 р. – Харків. – С. 15–17.

References

1. Evhrafv A.N. Aerodinamika avtomobilia / A. N. Evhrafv. – M. : MHYU, 2010. – 356 s.

2. Belzile Marc. Review of Aerodynamic Drag Reduction Devices for Heavy Trucks and Buses. Technical Report. Canada, 2012. URL: www.tc.gc.ca.

3. 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.

4. Chekhuta V. Dalnoboiaia perspektiva po-evropeisky / V. Chekhuta // Avtotrak. – 2014. – № 3. – С. 42–48.

5. Pylypenko O. M. Modeliuvannia aerodynamiky sidelnogo avtopotiahu / O. M. Pylypenko, O. V. Batrachenko, I. M. Lytovchenko // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – Khmelnytskyi : KhNU, 2017. – № 2. – С. 27–34.

6. Andreichyk A. F. Vliyanye zadnego spoileru poluprytsepa na obshchee aerodynamicheskoe soprotivlenye sedelnogo avtopoezda / A. F. Andreichyk // Mekhanyka mashyn, mekhanyzmov y materyalov. – 2014. – № 2. – С. 30–33.

7. Pylypenko O. M. Doslidzhennia aerodynamichnykh vlastyvostei zadnykh spoileriv sidelnykh avtopotiahiv / O. M. Pylypenko, O. V. Batrachenko, I. M. Lytovchenko // Herald of Khmelnytskyi National University. – Khmelnytskyi : KhNU, 2017. – № 3.

8. Pat. na vynakhid Ukraina, MPK (2012) B 62V 35/00. Vantazhnyi avtomobil / Pylypenko O. M., Batrachenko O. V. ; zaiavnyk i vlasnyk patentu Batrachenko O. V. – № a2011709862 ; zaiavl. 11.10.2017.

9. Zhyhulskyi D. Tesla Semi: on sushchesvtuet! / D. Zhyhulskyi // Avtotrak. – 2017. – № 5. – С. 47–53.

10. Batrachenko O. V. Vplyv roztashuvannia prystroiv zadnoho vydu na aerodynamichnyi opir vantazhnoho avtomobiliu / O. V. Batrachenko // Tezy Mizhnar. naukovo-prakt. konf. «Avtomobilnyi transport i avtomobilebuduvannia. Novitni tekhnolohii i metody pidhotovky fakhivtsiv». – 19–20 zhovtnia 2017 r. – Kharkiv. – С. 15–17.

Рецензія/Peer review : 27.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 16.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ANALYSIS OF THE CHOICE AND LOCATION OF WIND TURBINES IN POLAND AND EUROPE

A dynamic development of wind power engineering has been observed in the European countries for many years, which is mainly due to the European Union policy and reduction of emission of harmful substances into the atmosphere. The most technologically advanced countries in the wind turbine industry include Spain, Italy, France, Germany and Great Britain. In recent years, offshore wind farms built along the coast have become increasingly popular. Because of the considerable wind speed, offshore wind farms are able to produce much more energy than land farms, what is more, a great advantage of offshore wind farms is the unlimited space. In a situation when we consider land wind farms, this space which can be used for the development is much smaller and it has to be determined by meeting a number of legal, social and also space criteria. A fast development of the wind turbine industry makes it necessary to rationally analyse the location of farms, therefore, the legal regulations must be clearly defined so as to work out suitable procedures which will, on the one hand, create clear and simple procedure of these installations location, and on the other hand, will provide grounds for rational spatial policy in relation to wind farms. The construction and installation of wind farms is a time-consuming enterprise which requires significant financial expenses. That is why, the phase of the choice of location constitutes one of the key stages of wind farm installation. The choice of wind farm location both in Poland and in other European countries must meet numerous requirements in terms of technical, economical and legal criteria. Planning a wind farm construction, it is necessary to consider a number of aspects relating to the wind potential or suitable distance from residential developments and to thoroughly analyze the financial benefits resulting from the planned investment.

Keywords: wind farm, renewable energy sources, location of wind farms.

М. ГРИНЕВИЧ-ЯВОРСЬКА

Люблінський політехнічний університет, Польща

АНАЛІЗ ВИБОРУ ТА РОЗМІЩЕННЯ ВІТРЯНИХ ТУРБІН В ПОЛЬЩІ ТА ЄВРОПІ

Динамічний розвиток вітроенергетики спостерігається в європейських країнах впродовж багатьох років. Це пов'язано із політикою Європейського союзу щодо зменшення шкідливих викидів у атмосферу. Найбільш популярними та перспективними на сьогоднішній день є морські вітряні електростанції, побудовані вздовж берегової лінії. Для побудови максимально ефективної вітряної електростанції необхідно враховувати багато чинників, оскільки він потребує великої кількості ресурсів.

Ключові слова: вітрова ферма, відновлювальні джерела енергії, розміщення вітрових ферм.

Introduction

A dynamic development of wind power engineering has been observed in the European countries for many years, which is mainly due to the European Union policy and reduction of emission of harmful substances into the atmosphere. The most technologically advanced countries in the wind turbine industry include Spain, Italy, France, Germany and Great Britain. In recent years, offshore wind farms built along the coast have become increasingly popular. Because of the considerable wind speed, offshore wind farms are able to produce much more energy than land farms, what is more, a great advantage of offshore wind farms is the unlimited space. In a situation when we consider land wind farms, this space which can be used for the development is much smaller and it has to be determined by meeting a number of legal, social and also space criteria. A fast development of the wind turbine industry makes it necessary to rationally analyse the location of farms, therefore, the legal regulations must be clearly defined so as to work out suitable procedures which will, on the one hand, create clear and simple procedure of these installations location, and on the other hand, will provide grounds for rational spatial policy in relation to wind farms [5].

Wind farms in Poland

Presently, mainly traditional sources of energy are used to produce electricity in Poland, namely: coal, lignite or natural gas. Following the requirements of the European Union, member countries are obliged to reduce CO₂ emission, where by 2020, it has to be reduced by 20% within the whole Union. Thus, Poland is obliged to use the Renewable Sources of Energy as alternative sources of electricity generation. The possibilities of using RSE are quite extensive, we can list here, for example, biomass, biogas, geothermal, wave, tidal resources, solar and wind energy. The wind energy has been developing dynamically and it is used to produce electricity on a larger and larger scale. The potential for the energy development in our country is pretty big, which is proved by the results of examinations conducted by IMGW on the grounds of the observations of wind speed and direction made by the IMGW (Institute of Meteorology and Water Management). According to the report, the best conditions in terms of the wind resources are in the following regions: midlands, the northernmost parts of the coast from Koszalin to Hel, the region of the Wolin island, the Suwałki region, central Wielkopolska and Mazowsze, Beskid Śląski and Beskid Żywiecki, Bieszczady Mountains and Pogórze Dynowskie [1].

Location of wind farms in Poland

A construction of a wind farm is a very complex and complicated process, where already at the stage of a project, it is necessary to take into consideration a lot of criteria. Taking into account even the large size, moving elements of the construction, noise, flicker effect and other aspects, as for instance, those of natural, cultural or even tourist nature. The construction of wind farms should be planned in agricultural areas, wastelands or regions which

are not developed for house building. While planning a location for a wind farm, it is necessary to take into account the zones of nature protection and forests. The minimum distance of wind farms location from residential areas is also of great importance. Too small distances might increase the noise and intensify the stroboscopic effect. Another criterion, taking into consideration the areas which are attractive in terms of tourism, is the colour of the construction, height of towers and distance between the turbines. Analysing the above issues while planning the wind farms location, the following criteria must be fulfilled:

- wind power,
- adequate distance from buildings and road infrastructure,
- minimization of the flicker effect,
- economical aspects [2, 3].

It is estimated that in Poland almost 40% of the country area might be used for wind energy, taking into account the criterion of profitability 1000 kWh/m²/a year, with the assumption that the installation is 30 m above the ground and the roughness class is "0". The wind speed should be at least more than 3 m/s. The wind speed and direction at a given place depend on numerous factors, such as:

- natural topography of the land,
- air temperature,
- local state of atmosphere equilibrium,
- type of land surface (roughness),
- presence of water reservoirs,
- different kinds of land obstacles (buildings, trees, etc.).

The speed of wind is changing all the time, it is different during the daytime and at night, moreover, wind speeds in the summer tend to differ from those in winter. In the daytime, the highest wind speed is observed at midday, then there might also occur turbulences, also in the winter season higher wind speeds are observed. When investments are planned in a given area, special measuring masts are mounted which measure the wind speed and direction throughout the year. It allows to obtain a lot of data that change depending on the season of the year. When a wind potential change is taken into consideration over a wider period of time, the measurements are taken for three years. Thanks to the precise measurements of the wind force, it is possible to choose adequate turbine parameters and optimal height of the tower [4, 7].

Distance from build-up areas, road infrastructure

Planning wind farm installations, it is necessary to take into account the regulations and standards relating to wind farm construction. According to the Regulation of the Minister of the Environment of 2007, while planning a construction of wind farms, it is necessary to take into account the distance of the residential areas and the level of the noise produced. According to this regulation, the noise level at an adequate distance from its source should not exceed 40 dB, this distance ought to be properly calculated as it depends on the level of noise that is emitted by its source. In this way, an equal-loudness contour is drawn on a map of the selected area within which there should be no residential buildings. The noise emitted by modern turbines is generated primarily by the aerodynamic drag. In the modern construction of wind turbines the noise induced mechanically is reduced. The noise induced aerodynamically manifests itself as a uniform humming sound and may be perceived as an annoying noise. A factor which increases the range of such effect is the location of the moving parts a wind turbine at a considerable height ranging from several dozen to one hundred meters: with the wind farm height of 80–100 m and wind speed of 8–10 m/s, the sound power can vary from 101 to 106 dB. So as not to exceed the permissible noise levels, an appropriate distance between a wind farm and a residential area should be kept [6, 7].

Distance from a turbine [m]	Noise exposure for a turbine of 600 kW [dBA]	Noise exposure for a turbine of 1650 kW [dBA]
200	46,5	47,0
250	44,4	44,9
300	42,7	43,2
500	37,4	37,9

Fig. 1. A sample distribution of sound level for a wind farm [15]

The data collected show that the noise generated by turbines has no significant intensity. The problem results rather from its monotony and long-lasting impact on a human psyche. Planning a construction of wind farms, due to the minimization of costs connected with the construction of access roads, it is necessary to take into account the access conditions, the best solution is to situate the turbines as close to the public road and the roads connecting the turbines as possible. It also reduces the complications resulting from the preparation of adequately profiled curves of roads, curing the access roads and putting them to use [5].

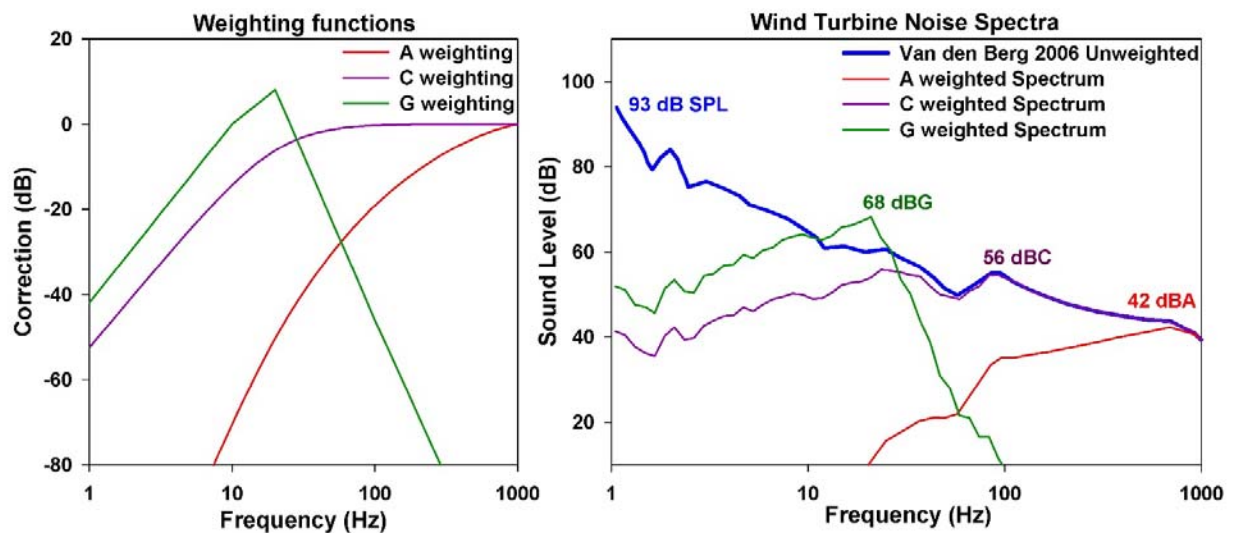


Fig. 2. Perception of noise of the same intensity emitted by Wind Turbine [8]

Distance from the residential and residential-commercial service development	min. 1000m
Distance from hospitals and social care centres	min. 1200m
Distance from buildings associated with permanent or temporary stay of children and adolescents	min. 1200m
Distance from spa developments	min. 1600m

Fig. 3. The distance from the build-up areas suggested for the location of wind farms [15]

Stroboscopic effect and shadow effect

The stroboscopic effect is observed when the rotating rotor blades periodically reflect the light beams. The light reflections might be treated as elements of emission distorting the vision of living organisms [5]. The stroboscopic effect is presently treated as a less important impact of wind farms because it has been virtually eliminated by using matt paints to paint the rotor blades. The shadow effect is caused by the shadow cast by the wind farms constructions (the tower and rotor blades). The factors affecting the intensity of the shadow flicker are the following:

- height of the tower and diameter of the rotor,
- cloudiness,
- distance of a wind farm from buildings,
- presence of trees between a wind farm and residential buildings,
- windows and doors exposition in residential buildings.

Modelling of the phenomenon of shadow flicker at the stage of designing a wind farm construction allows to plan a convenient location of turbines which will prevent an excessive impact of the above effect on humans [9, 10].

Economical criterion

A construction of a wind farm is a very expensive investment that is why its operation must be profitable. Therefore, when the location is chosen, the following factors have to be considered: the price of the land, the geological and engineering conditions, the state of the existing road infrastructure and a possibility to make a connection to the power network [6, 13].

Location of wind farms in the selected European countries

Denmark

In 2007 in Denmark about 16,2 % of the energy supply in this country came from the sources, nevertheless in the recent years installations of new wind farms decreased. The Danish government continues the energy policy introduced in 2006 which focuses on the problems of globalization and better use of renewable sources of energy. Denmark had to cope with the problem of the choice of appropriate location, where already in 1995 the Ministry of Energy and Environment issued a document called Local planning for wind energy in Denmark: Examples and experience. This document provided information on turbines location and the way they should be fitted in the landscape, as well as the necessity of mounting turbines in groups. The subsequent years of wind farms installation proved that the arrangements introduced previously had to be more precise due to the fact that the wind farms had been constructed in inadequate places. Denmark issued another regulation which defined places where wind farms should be installed with a precise indication of the surface and maximum height. Apart from that, a minimum distance of turbines from the closest building developments was determined as 4 x height of a tower. In the event a turbine was more than 80 m high, an environmental permit had to be obtained [14, 15].

Sweden

Sweden is an example of a country which recently has clearly accelerated the process of wind farms installation. The location of turbines is based on two legal acts: Act on Planning and Construction of 1987 and the

Environmental Code of 1998. Presently, a construction of a single turbine requires a building permit, and in case of wind farms, a detailed area development plan has to be accepted by the local authorities. However, according to the environmental regulations, bigger installations require an environmental consent and the smaller ones have to be only reported [10–12].

Germany

In Germany wind turbines are located outside the build-up areas. Already in 1986, the German government decided that wind farms were privileged constructions which could be erected in the areas situated beyond the urban areas. Nevertheless, in Germany there is still an unresolved problem relating to the definition of minimum distance from the build-up areas. Some Lands started to introduce their own regulations. For instance, in Bavaria some lawmakers want wind farms to be constructed at a distance from houses equal to minimum 10 times the height of their towers. Yet, individual districts are to maintain the right to define the areas for wind farms construction in their spatial development planning. However the authorities of Saxony decided that wind farms should be constructed at a distance at least 1 km from the residential buildings. In case of Baden-Württemberg, the authorities decided that the minimum distance of wind farms from the buildings was to be at least 700 m [12, 13].

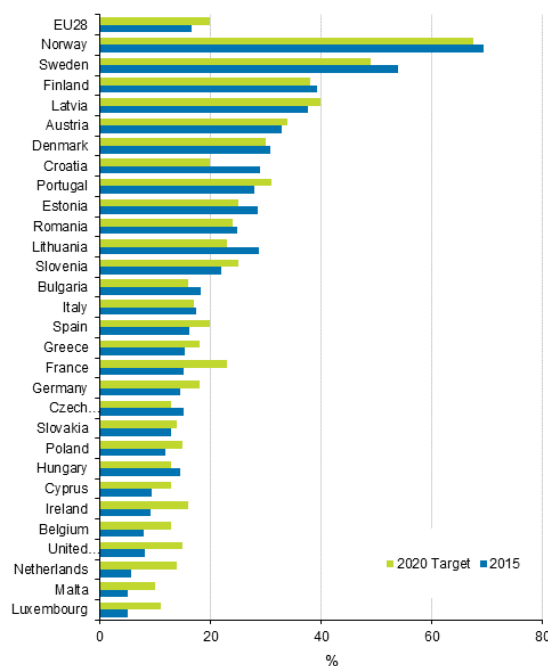


Fig. 4. Percentage of energy coming from renewable sources in total primary energy in the selected countries of EU % [12]

Conclusions

The construction and installation of wind farms is a time-consuming enterprise which requires significant financial expenses. That is why, the phase of the choice of location constitutes one of the key stages of wind farm installation. The choice of wind farm location both in Poland and in other European countries must meet numerous requirements in terms of technical, economical and legal criteria. Planning a wind farm construction, it is necessary to consider a number of aspects relating to the wind potential or suitable distance from residential developments and to thoroughly analyze the financial benefits resulting from the planned investment.

References

1. Blachowski J. 2010. Studium przestrzennych uwarunkowań w rozwoju energetyki wiatrowej w województwie dolnośląskim Jan Blachowski Wojewódzkie Biuro Urbanistyczne we Wrocławiu.
2. Charlak M, Jarzyna W., Augustyniak M. Koncepcja zastosowania materiałów piezoelektrycznych do tłumienia drgań turbin elektrowni wiatrowych. 43 Szkoła Inżynierii Materiałowej, 2015
3. Damazy L., 1999. Rachunek ekonomiczny w energetyce. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
4. European Wind Energy Association / source: European Wind Energy Association. EWEA 2015.
5. Gdesz M. 2009. Elektrownie wiatrowe a publiczne prawo nieruchomości. Opracowanie przygotowane na zlecenie Ministerstwa Infrastruktury.
6. Gdesz M., 2009. Elektrownie wiatrowe a publiczne prawo nieruchomości.
7. Gospodarek Ł, Trzmiel G., 2014. Wybrane aspekty techniczno-ekonomiczne lokalizacji farm IAPGOŚ.
8. <http://farhek.com/jd/e61890y0/c-measurements-sound/qd10098/>
9. <http://gramwzielone.pl/energia-wiatrowa/11121/niemieckie-landy-chca-decydowac-o-odleglosci-farm-wiatrowych-od-zabudowan>.
10. <http://ioze.pl/energetyka-wiatrowa/wyszukanie-lokalizacji-kryteria-wyboru>.
11. <http://www.zielonaenergia.eco.pl/>
12. https://www.stat.fi/til/ehk/2016/04/ehk_2016_04_2017-03-23_kuv_021_en.html
13. Montusiewicz J, Gryniiewicz-Jaworska M, Pijarski P. Looking for the optimal location for wind farms. Advances in Science and Technology Research Journal, 2015
14. Pedersen & Waye, 2004
15. www.elektrownie-wiatrowe.org.pl

ВИЗНАЧЕННЯ В'ЯЗКОПРУЖНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПОЛІМЕРНОГО МАТЕРІАЛУ

В статті розглядається метод, який дає можливість визначати в'язкопружну деформацію полімерного матеріалу, в якому створюється складний напружено-деформований стан. Вирази для визначення деформацій полімерного матеріалу можна використовувати для розрахунку дотичних і нормальних навантажень, які мають забезпечуватися зусиллям, що створюватиме обладнання для переробки полімерних відходів, під дією яких буде відбуватися руйнування полімерного матеріалу.

Ключові слова: полімерний матеріал, напружено-деформований стан, експонентні ядра, трансверсально ізотропний матеріал.

O.M. SYNYUK, O.A. KRAVCHUK, A.Y. KRAVCHUK

Khmelnytsky National University

DETERMINATION OF VOLUNTEER STRESS DEFORMATION OF POLYMERNAL MATERIAL

The article deals with the method that makes it possible to determine the viscoelastic deformation of a polymeric material in which a complex stress-strain state is created. Expressions for determining the deformations of a polymeric material can be used to calculate the tangential and normal loads to be provided by the effort that will create the equipment for the processing of polymeric waste, under the influence of which the destruction of the polymeric material will occur. In the first stage, the polymer waste is processed on the toothed rollers, where they are stretched and compressed; At the second stage, polymeric wastes with a relaxed structure are treated on devices with rolls of the Relo profile, where they undergo compression and shear deformations; in the third stage, the polymer waste with a partially destroyed structure is treated with a needle-cutter device where they are finally destroyed in the places that were most weakened in the previous stages. For determination of rational structural parameters of processing devices and technological modes of their work the processes of deformation of polymer material in these devices are considered. The specificity of polymers limits the use of resistance to materials to determine the strength and therefore it is necessary to make significant adjustments to them. The basis of the theory of strength and deformation of polymeric materials should be based on the lawfulness of the studies on the influence of the time, temperature, humidity, anisotropy and other factors.

Key words: polymer material, stress-deformed state, exponential nuclei, transversally isotropic material.

Постановка проблеми: знайти та представити метод, який би надавав можливість визначати в'язкопружну деформацію полімерного матеріалу, в якому створюється складний напружено-деформований стан.

Вступ. Згідно з розробленою в роботі [1, 2] концепцією проектування обладнання для переробки полімерних відходів, що враховує зміну надмолекулярної структури полімерного матеріалу та анізотропію його властивостей при створенні у ньому складного напружено-деформованого стану, визначимо схему переробки полімерних відходів (рис. 1).

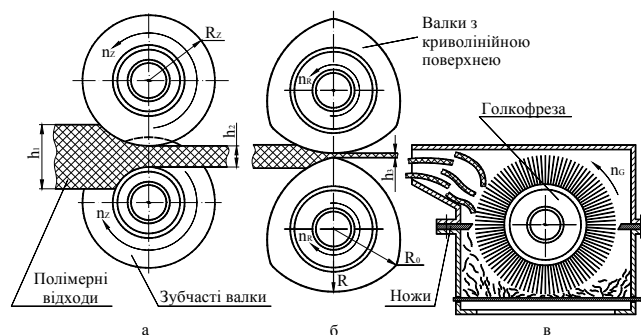


Рис. 1. Схема перетворення полімерних відходів на частинки: а – вузол зубчастих валків; б – вузол валків з криволінійною поверхнею; в – вузол голкофрези

Як видно з рис. 1 на першому етапі полімерні відходи оброблюються на зубчастих валках, де вони розтягуються і стискаються; на другому етапі полімерні відходи з послабленою структурою оброблюються на пристрої із валками профілю Рело, де вони піддаються деформаціям стиску та зсуву; на третьому етапі полімерні відходи із частково зруйнованою структурою оброблюються на голкофрезному пристрої, де вони остаточно руйнуються в місцях, які були найбільш послаблені на попередніх етапах.

Для визначення раціональних конструкційних параметрів перероблювальних пристроїв та технологічних режимів їх роботи розглянемо процеси деформації полімерного матеріалу в цих пристроях (рис. 2). В пристрої із зубчастими валками матеріал спочатку витягується, а потім стискається, що дозволяє створити і зафіксувати в матеріалі орієнтовану надмолекулярну структуру. Після чого орієнтований полімерний матеріал подається в пристрій із валками Рело, де він піддається деформаціям стиску і зсуву.

Специфіка полімерів обмежує застосування методів з опору матеріалів для визначення міцності і тому постає необхідність внесення до них суттєвих корективів. В основу теорії міцності і деформування полімерних матеріалів повинно бути покладено отримані з дослідів закономірності щодо впливу фактора часу, температури, вологості, анізотропії та інші.

Полімери, що є пружно-в'язко-пластичними матеріалами, властива нестабільність структури в часі і при змінній температурі. Їхня міцність і деформація змінюються в часі при постійно діючих, ступінчатих та змінних навантаженнях. Під впливом навантаження в полімерних матеріалах виникають миттєві пружні деформації і деформації, що розвиваються в часі, – в'язкопружні та пластичні. Розглядається два типи деформації, що створюються перероблювальним обладнанням в полімерному матеріалі: в'язкопружний та пластичний (руйнуючий). За зовнішнім результатом вони ідентичні, в обох випадках відбувається зміщення надмолекулярних структур, макромолекул або їх ланцюгів, але за сутністю ці деформації різні. В процесі в'язкопружного деформування зміщення зумовлюється тепловими флуктаціями і здійснюються поступово, по мірі вивільнення місця, тому в'язкопружна деформація не пов'язана з порушенням цілісності та початкової структури полімеру і для її розвитку вимагається лише час. В'язкопружні деформації незворотні як і пластичні, але вони не руйнують структуру полімеру, тому пружні властивості полімеру після в'язкої деформації не змінюються, а при зміні знака зусилля або підвищення температури в'язкопружна деформація може бути зведена до нуля.

Пластичні деформації не зникають після повного розвантаження протягом необмеженого великого періоду часу. Величина і швидкість розвитку в часі пластичної деформації залежать від величини і часу дії навантаження. Зростання цих деформацій пояснюється прогресуючим в часі виникненням і розвитком місцевих руйнувань.

Виклад основного матеріалу дослідження. Результати досліджень механічних релаксаційних явищ в полімерах в широкому температурно-часовому інтервалі кількісно співставляються один з другим на підставі двох основних методів опису їх поведінки. Ці методи інтерпретації в'язкопружного напружено-деформаційного стану полімерного матеріалу ґрунтуються на двох підходах, що визначаються співвідношеннями між напруженнями і деформаціями. Перший підхід полягає у використанні функцій повзучості та релаксації у вигляді інтегралів Стілтєсса [1, 2]:

$$\begin{aligned}\sigma(t) &= \int_0^t E(t-\tau) \cdot \left[\frac{d\varepsilon_{kl}(\tau)}{d\tau} \right] \cdot d\tau, \\ \varepsilon(t) &= \int_0^t J(t-\tau) \cdot \left[\frac{d\sigma_{kl}(\tau)}{d\tau} \right] \cdot d\tau,\end{aligned}\quad (1)$$

де τ – час релаксації; E, J – відповідно, функції релаксації і повзучості.

Другий підхід полягає у використанні в співвідношеннях між напруженнями і деформаціями ядер повзучості і релаксації у вигляді інтегралів Рімана [3]:

$$\begin{aligned}\sigma(t) &= E \left[\varepsilon(t) - \int_0^t R(t-\tau) \cdot \varepsilon(\tau) \cdot d\tau \right], \\ \varepsilon(t) &= \frac{1}{E} \left[\sigma(t) + \int_0^t K(t-\tau) \cdot \sigma(\tau) \cdot d\tau \right],\end{aligned}\quad (2)$$

де $R(t-\tau) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \exp[-b_i(t-\tau)]$ – експонентне ядро релаксації;

$K(t-\tau) = \sum_{i=1}^n c_i \exp[-a_i(t-\tau)]$ – експонентне ядро повзучості.

Методики визначення параметрів експонентних ядер у рівняннях (2) засновані на різних наближених методах [3]. Недоліками експонентних ядер є те, що вони дають кінцеву швидкість деформації в початковий період навантаження. Крім того, для опису деформації реальних полімерів необхідна величезна кількість параметрів полімерного матеріалу. Тому, в математичній моделі деформації полімеру будемо використовувати рівняння (1).

Представимо інтеграли Стілтєсса (1) в тензорній формі:

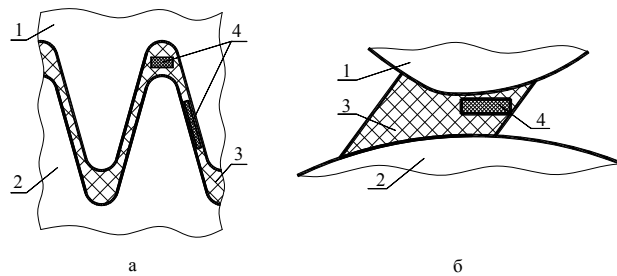


Рис. 2. Схема деформації полімеру між зубчастими валками (а) і валками профілю Рело (б): 1, 2 – верхній і нижній валки; 3 – полімерні відходи; 4 – нескінченно малий об'єм полімер

$$\sigma_{ij}(t) = \int_0^t E_{ijkl}(t-\tau) \cdot \left[\frac{d\varepsilon_{kl}(\tau)}{d\tau} \right] \cdot d\tau; \quad \varepsilon_{ij}(t) = \int_0^t J_{ijkl}(t-\tau) \cdot \left[\frac{d\sigma_{kl}(\tau)}{d\tau} \right] \cdot d\tau, \quad (3)$$

де τ – час релаксації; E_{ijkl} , J_{ijkl} – відповідно функції релаксації і повзучості, які утворюють тензори четвертого порядку.

При $-\infty < t < 0$ тензори E_{ijkl} , J_{ijkl} дорівнюють нулю, тобто $E_{ijkl}(t) = J_{ijkl}(t) = 0$, і кожен елемент цих тензорів має обмежену варіацію в будь-якому замкнутому підінтервалі з області $-\infty < t < \infty$.

Напруження, що виникають у полімерному матеріалі в процесі його обробки (рис. 3), визначимо з виразу узагальненого закону Гука [3, 4, 5] таким чином:

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \cdot \varepsilon_{kl} \quad i, j, k, l = 1, 2, 3, \quad (4)$$

де σ_{ij} і ε_{kl} – відповідно тензори напруження і деформацій другого рангу відповідно; C_{ijkl} – тензор коефіцієнтів четвертого рангу, що описують пружні властивості полімерних матеріалів.

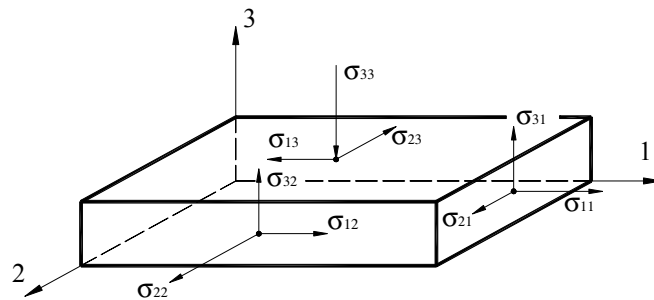


Рис. 3. В'язкопружна деформація нескінченно малого об'єму полімеру

Два однакові індекси позначатимуть нормальні напруження, а два різні індекси позначатимуть дотичні напруження. Причому цифра 1 позначає вісь x або повернену вісь x' , цифра 2 – вісь y або повернену вісь y' , цифра 3 – вісь z або повернену вісь z' :

$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{pmatrix} \quad (5)$$

Якщо $k = 1$, то ε_{kl} представляють відносні деформації (подовження бо укорочення), а якщо $k \neq 1$, то ε_{kl} представляють відносні деформації зсуву. При цьому слід мати на увазі, що у формулі (4) підсумовування проводиться по індексах, що зустрічаються двічі в правій частині формули, тобто за індексами k і l . Для обчислення всього напруженого стану анізотропного тіла в загальному випадку буде потрібно $34 = 81$ значення релаксаційних постійних. Проте симетричність тензорів σ_{ij} і ε_{kl} дозволяє зменшити кількість незалежних компонент до 36.

Вирішуючи рівняння (4) відносно деформації ε_{kl} отримаємо вираз закону Гука у в'язкопружній постановці у вигляді:

$$\varepsilon_{kl} = S_{ijkl} \cdot \sigma_{ij}, \quad i, j, k, l = 1, 2, 3, \quad (6)$$

де $S_{ijkl} = \frac{1}{C_{ijkl}} = C_{ijkl}^{-1}$ – тензор податливостей (або тензор коефіцієнтів, що описують в'язкопружні властивості полімерів).

При цьому згідно до [3, 5] величину в'язкопружного потенціалу можна представити у вигляді квадратичної функції напруження:

$$U = \frac{1}{2} \cdot S_{ijkl} \cdot \sigma_{ij} \cdot \sigma_{kl}. \quad (7)$$

У [3] показано, що величина в'язкопружного потенціалу U різна для різних напружених станів, але постійна (інваріантна) для кожного даного напруженого стану і не залежить від повороту осей координат. Умова інваріантності величини в'язкопружного потенціалу від повороту координатних осей для конкретного виду напруженого стану лежить в основі визначення релаксаційних властивостей полімерних матеріалів. При цьому в процесі формування полімерних матеріалів згідно до структурної моделі, можливе чергування кристалічних і аморфних областей, що мають різні фізико-механічні властивостями і різні типи симетрії їх релаксаційних властивостей. Для опису в'язкопружних властивостей полімерних матеріалів необхідно мати в своєму розпорядженні рівняння, що встановлюють взаємозв'язок їх релаксаційних властивостей з типами

їх анізотропії, тобто з типами їх структурної симетрії. Для отримання основних визначальних співвідношень, що зв'язують різні типи структурної анізотропії полімерних матеріалів розглянемо тензор пружних постійних C_{ijkl} в компактнішому вигляді, при умові введення таких скорочених позначень для напружень і деформацій:

$$\begin{aligned}\sigma_{11} &= \sigma_1, & \varepsilon_{11} &= \varepsilon_1; \\ \sigma_{22} &= \sigma_2, & \varepsilon_{22} &= \varepsilon_2; \\ \sigma_{33} &= \sigma_3, & \varepsilon_{33} &= \varepsilon_3; \\ \sigma_{23} &= \sigma_4, & \varepsilon_{23} &= \varepsilon_4; \\ \sigma_{13} &= \sigma_5, & \varepsilon_{13} &= \varepsilon_5; \\ \sigma_{12} &= \sigma_6, & \varepsilon_{12} &= \varepsilon_6.\end{aligned}\tag{8}$$

Виконуючи заміну компонентів тензорів напружень та деформацій в рівнянні (4), враховуючи їх симетричність, отримаємо:

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56} \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{pmatrix} \quad \text{або} \tag{9}$$

$$\sigma_i = C_{ij} \cdot \varepsilon_j, \quad (i, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6)$$

Згідно з [3] матриця C_{ij} є симетричною відносно головної діагоналі. Це означає, що в рівнянні (9) коефіцієнти, що розташовані над головною діагоналлю і під нею, будуть попарно рівними між собою. В результаті лишилося 21 коефіцієнт, які розрізняються між собою:

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ & & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ & & & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ & & & & C_{55} & C_{56} \\ & & & & & C_{66} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{pmatrix}. \tag{10}$$

Нехай полімер має по відношенню до своїх в'язкопружних властивостей вісь симетрії другого порядку [3, 4]. Це означає, що після кожного повороту системи координат на 180° навколо осі симетрії значення в'язкопружних постійних в нерухомій і рухомій системі координат мають співпадати. Це дає рівність нулю таких компонентів матриці C_{ij} :

$$C_{14} = C_{24} = C_{34} = C_{15} = C_{25} = C_{35} = C_{46} = C_{56} = 0. \tag{11}$$

Підставляючи рівняння (11) в рівняння (10) отримаємо матрицю C_{ij} , яка має 13 незалежних компонент:

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & C_{16} \\ & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & C_{26} \\ & & C_{33} & 0 & 0 & C_{36} \\ & & & C_{44} & C_{45} & 0 \\ & & & & C_{55} & 0 \\ & & & & & C_{66} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{pmatrix}. \tag{12}$$

Для випадку ортотропної полімерного матеріалу по відношенню до трьох взаємно перпендикулярних площин матриця C_{ij} буде мати 9 незалежних компонент [1, 2]. Згідно з [5] ортотропне тіло можна представити як призму, що містить решітку з трьох взаємно перпендикулярних "стрижнів" різних розмірів та розташованих вздовж координатних осей x , y та z , як показано на рис. 4.

Подібне уявлення ортотропного континууму, звичайно, умовно; воно служить лише зручною формою для наочного представлення матеріалу, який має різні пружні властивості в різних напрямках. З рис. 4 видно, що ортотропне тіло буде по-різному реагувати на вплив нормальних і дотичних зусиль, прикладених до різних граней призми – до граней з нормальними уздовж координатних осей x , y , z . Наприклад, деформація e_{zz} , пов'язана з напруженням σ_{zz} , буде помітно меншою за деформацію e_{xx} , що пов'язана з напруженням σ_{xx} . Аналогічно деформації зсуву e_{yz} , викликані дотичними напруженнями σ_{yz} , будуть менші, ніж деформації зсуву e_{xy} , викликані дотичними напруженнями σ_{xy} .

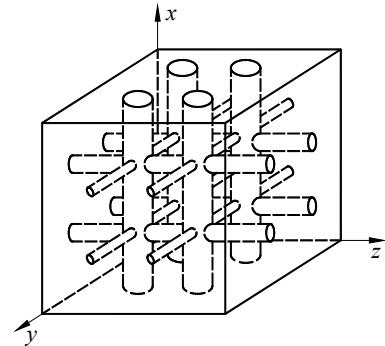


Рис. 4. Ортотропний матеріал

$$C_{ij} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ & & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ & & & C_{44} & 0 & 0 \\ & & & & C_{55} & 0 \\ & & & & & C_{66} \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Як видно з рівняння (13) система має більше невідомих, ніж рівнянь. Введемо ще одне припущення – представимо полімер як трансверсально ізотропний матеріал (рис. 5). Тобто таким же способом, що й ортотропний, за тим винятком, що взаємно перпендикулярна сітка стрижнів у двох координатних напрямках (y та z) має однакові розміри [5].

З рис. 5 видно, що напрями x і y еквівалентні. Така еквівалентність дозволяє описати трансверсально ізотропний матеріал за допомогою п'яти постійних замість дев'яти, необхідних для ортотропного.

Так як маємо ізотропність властивостей матеріалу по координатах y та z , то коефіцієнт, що стоїть перед $\varepsilon_2(\varepsilon_y)$ в другому рівнянні системи (12), дорівнює коефіцієнту, що стоїть перед $\varepsilon_3(\varepsilon_z)$ в третьому рівнянні даної системи, а коефіцієнт, що стоїть перед $\varepsilon_2(\varepsilon_y)$ в першому рівнянні системи (12), дорівнює коефіцієнту, що стоїть перед $\varepsilon_3(\varepsilon_z)$ в третьому рівнянні цієї системи, тобто $C_{22} = C_{33}$, а $C_{12} = C_{13}$.

Крім того, зсув в ізотропній площині y, z забезпечує певне співвідношення між постійними при $\varepsilon_2(\varepsilon_y)$, $\varepsilon_3(\varepsilon_z)$ в другому рівнянні системи (12) та постійною при $\varepsilon_4(\varepsilon_{yz})$ в четвертому рівнянні цієї ж системи. Для визначення цього співвідношення розглянемо зсув під дією напруження σ_2 на рис. 6.

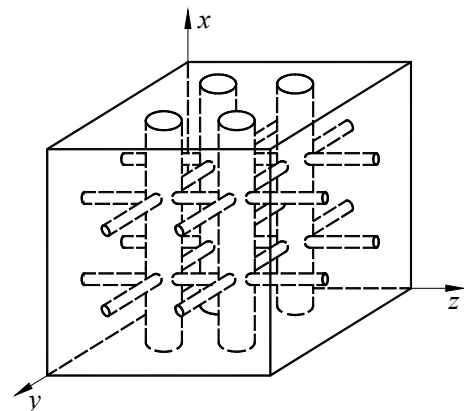


Рис. 5. Трансверсально ізотропний матеріал

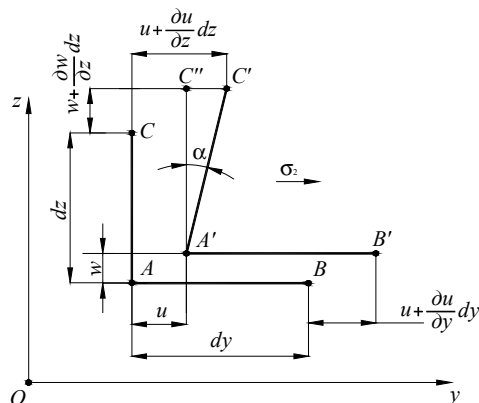


Рис. 6. Схема зсуву під дією напруження σ_2

Складові переміщення точки С будуть відрізнятися від складових переміщення точки А на нескінченно малу величину за рахунок зміни координати z :

$$u + \frac{\partial u}{\partial z} dz; \quad w + \frac{\partial w}{\partial z} dz.$$

Довжина проекції ребра АВ на вісь y буде дорівнювати:

$$A'B' = dy - u + u + \frac{\partial u}{\partial y} dy = dy + \frac{\partial u}{\partial y} dy. \quad (14)$$

Отже проекція абсолютного подовження ребра АВ на вісь y :

$$\Delta AB = A'B' - AB = dy + \frac{\partial u}{\partial y} dy - dy = \frac{\partial u}{\partial y} dy,$$

а відносно подовження вздовж осі z становитиме:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_y = \frac{\Delta AB}{AB} = \frac{\frac{\partial u}{\partial y} dy}{dy} = \frac{\partial u}{\partial y}. \quad (15)$$

Розглянемо зміну кута між ребрами АС та АВ, що була викликана напруженням σ_2 . Тангенс кута повороту ребра АС в площині yOz .

Обмежуючись розглядом тільки малих деформацій, можна вважати, що $\tan \alpha \approx \alpha$, і знехтувати лінійною деформацією ε_z через малість у порівнянні з одиницею. Тоді кутова деформація буде дорівнювати:

$$\varepsilon_4 = \gamma_{zy} = \frac{\partial u}{\partial z}. \quad (16)$$

Враховуючи залежності між дотичними і нормальними напруженнями [4] можна записати:

$$\frac{\sigma_2 - 0}{2} = \sigma_4. \quad (17)$$

де σ_2 – нормальне напруження, σ_4 – тангенціальне напруження.

Виразимо σ_2 і σ_4 з системи $\sigma_i = C_{ij} \cdot \varepsilon_j$, де C_{ij} – матриця коефіцієнтів (13).

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= \varepsilon_2 \cdot C_{22} - \varepsilon_3 \cdot C_{23}, \\ \sigma_4 &= \varepsilon_4 \cdot C_{44}. \end{aligned} \quad (18)$$

В першому рівнянні знак “–” означає протилежний напрям деформацій: по осі y – розтяг, а по осі z – стиск.

Підставивши вирази напружень σ_2 , σ_4 з (18) в рівняння (17), отримаємо:

$$C_{44} \cdot \varepsilon_4 = \frac{\varepsilon_2 \cdot (C_{22} - C_{23})}{2}. \quad (19)$$

Тут $\varepsilon_2 = \varepsilon_3$ за умови ізотропності властивостей матеріалу по координатах y та z . Враховуючи (16) формула (19) запишеться таким чином:

$$C_{44} = \frac{C_{22} - C_{23}}{2}. \quad (20)$$

Ізотропність властивостей матеріалу по координатах y та z задовольняє умові $C_{44} = C_{66}$. Враховуючи це перепишемо рівняння (20) в такому вигляді:

$$C_{44} = C_{66} = \frac{C_{22} - C_{23}}{2}. \quad (21)$$

Враховуючи вищевикладене отримаємо матрицю постійних в такому вигляді:

$$C_{ij} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} = C_{13} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ & C_{22} = C_{33} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ & & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ & & & \frac{C_{22} - C_{23}}{2} & 0 & 0 \\ & & & & C_{55} & 0 \\ & & & & & \frac{C_{22} - C_{23}}{2} \end{pmatrix}. \quad (22)$$

Використання співвідношень (12), (13), (22) при практичних розрахунках пов'язане зі значними

експериментальними труднощами в ході визначення компонент C_{ij} , з прямих фізико-механічних експериментів. Через це в практичних розрахунках будемо використовувати такі постійні, методи визначення яких відомі і детально викладені у роботах [2, 5]. Для цього перепишемо рівняння (3.6) в такому вигляді:

$$\varepsilon_i = S_{ij} \cdot \sigma_j \quad i, j, k, l = 1, 2, 3, 4, 5, 6, \quad (23)$$

Де матриця податливостей S_{ij} визначається таким чином:

$$S_{ij} = \frac{C_{ij}^T}{|C_{ij}|},$$

де C_{ij}^T – транспонована матриця, елементами якої є алгебраїчні доповнення матриці C_{ij} , $|C_{ij}|$ – визначник матриці.

З умови симетрії $C_{ij} = C_{ji}$ витікає симетрія $S_{ij} = S_{ji}$.

Розглянемо випадок, коли σ_1 – єдине діюче напруження, тоді ε_1 , згідно з (23) можна виразити таким чином

$$\varepsilon_1 = S_{11} \cdot \sigma_1 = \frac{\sigma_1}{E_{11}}. \quad (24)$$

Якщо діє тільки напруження σ_2 , то

$$\varepsilon_2 = S_{22} \cdot \sigma_2 = \frac{\sigma_2}{E_{22}}, \quad (25)$$

а якщо діє тільки напруження σ_3 , то

$$\varepsilon_3 = S_{33} \cdot \sigma_3 = \frac{\sigma_3}{E_{33}}. \quad (26)$$

Деформації в перпендикулярних напрямках можна зв'язати такою залежністю [4]

$$\varepsilon_1 = -\nu_{21} \cdot \varepsilon_2. \quad (27)$$

Підставляючи рівняння (25) в (27) можна отримати

$$\varepsilon_1 = -\nu_{21} \frac{\sigma_2}{E_{22}}, \quad (28)$$

де E_{ij} – в'язкопружні модулі; ν_{ij} – коефіцієнти Пуассона (перший індекс показує напрямок прикладеного навантаження, а другий – напрямок зміни поперечних розмірів).

Для загального випадку нормального навантаження маємо

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{\sigma_1}{E_{11}} - \nu_{21} \frac{\sigma_2}{E_{22}} - \nu_{31} \frac{\sigma_3}{E_{33}}, \\ \varepsilon_2 &= -\nu_{12} \frac{\sigma_1}{E_{11}} + \frac{\sigma_2}{E_{22}} - \nu_{32} \frac{\sigma_3}{E_{33}}, \\ \varepsilon_3 &= -\nu_{13} \frac{\sigma_1}{E_{11}} - \nu_{23} \frac{\sigma_2}{E_{22}} + \frac{\sigma_3}{E_{33}}. \end{aligned} \quad (29)$$

Для загального випадку дотичного навантаження маємо

$$\varepsilon_4 = \frac{\sigma_4}{G_{23}}, \quad \varepsilon_5 = \frac{\sigma_5}{G_{13}}, \quad \varepsilon_6 = \frac{\sigma_6}{G_{12}}. \quad (30)$$

Отже, враховуючи рівняння (29) та (30) запишемо матрицю податливостей S_{ij} через в'язкопружні постійні в розгорненому вигляді для трансверсального ізотропного полімерного матеріалу

$$S_{ij} = \begin{pmatrix} \frac{1}{E_{11}} & -\frac{\nu_{21}}{E_{22}} & -\frac{\nu_{31}}{E_{33}} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{12}}{E_{11}} & \frac{1}{E_{22}} & -\frac{\nu_{32}}{E_{33}} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{13}}{E_{11}} & -\frac{\nu_{23}}{E_{22}} & \frac{1}{E_{33}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{23}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{13}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{pmatrix}. \quad (31)$$

Підставивши формулу (31) в (23) з врахуванням (22), отримаємо

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{E_{11}} & -\frac{\nu_{21}}{E_{22}} & -\frac{\nu_{31}}{E_{33}} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{12}}{E_{11}} & \frac{1}{E_{22}} & -\frac{\nu_{32}}{E_{33}} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{13}}{E_{11}} & -\frac{\nu_{23}}{E_{22}} & \frac{1}{E_{33}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{23}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{13}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{pmatrix}. \quad (32)$$

Отримана система з шести рівнянь встановлює взаємозв'язок між основними в'язкопружними параметрами полімерного матеріалу і може вважатися моделлю ізотропного орієнтованого полімеру.

Із властивості симетрії матеріалу $[S_{ij}] = [S_{ji}]$ та з рівняння (32) витікає співвідношення

$$\nu_{ij} E_j = \nu_{ji} E_i. \quad (33)$$

Тут підсумовування за індексами, що повторюються, не проводиться.

Деформація полімерних відходів у валкових пристроях відбувається в умовах, коли полімерний матеріал знаходиться в умовах плоского напруженого стану. В цьому випадку маємо $\sigma_3 = \sigma_{33} = 0$; $\sigma_4 = \sigma_{23} = 0$; $\sigma_5 = \sigma_{13} = 0$ [1, 3], і підставляючи ці умови в рівняння (33) отримаємо:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{E_{11}} & -\frac{\nu_{21}}{E_{22}} & 0 \\ -\frac{\nu_{12}}{E_{11}} & \frac{1}{E_{22}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_6 \end{pmatrix}. \quad (34)$$

З системи (34) видно, що для опису поведінки полімеру при створенні в ньому складного напружено-деформованого стану необхідно мати значення чотирьох незалежних в'язкопружних констант.

З рівняння (34) може бути отримане зворотнє співвідношення

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{E_{11}} & -\frac{\nu_{21}}{E_{22}} & 0 \\ -\frac{\nu_{12}}{E_{11}} & \frac{1}{E_{22}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_6 \end{pmatrix}. \quad (35)$$

Обернену матрицю визначимо, використовуючи відому формулу перетворення $C = S^{-1} = \frac{1}{|S|} \cdot S^T$, де $|S|$ – визначник вихідної матриці S ; S^T – транспонована матриця алгебраїчних доповнень відповідних елементів матриці S . В результаті отримаємо:

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{E_{11}}{1-\nu_{21}\nu_{12}} & \frac{\nu_{21}E_{11}}{1-\nu_{21}\nu_{12}} & 0 \\ \frac{\nu_{12}E_{22}}{1-\nu_{21}\nu_{12}} & \frac{E_{22}}{1-\nu_{21}\nu_{12}} & 0 \\ 0 & 0 & G_{12} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_6 \end{pmatrix} \quad \text{або} \quad \sigma_i = C_{ij} \cdot \varepsilon_j, \quad (i, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6). \quad (36)$$

Взаємозв'язок між в'язкопружними компонентами з рівняння (36) і константами C_{ij} [2] легко встановити, якщо покласти, що напруження σ_3 дорівнює нулю [Кристансен]. В результаті отримаємо таку систему рівнянь

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{11} - \frac{C_{13}^2}{C_{33}} & C_{12} - \frac{C_{13} \cdot C_{23}}{C_{33}} & 0 \\ C_{12} - \frac{C_{13} \cdot C_{23}}{C_{33}} & C_{22} - \frac{C_{23}^2}{C_{33}} & 0 \\ 0 & 0 & C_{66} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_6 \end{pmatrix}. \quad (37)$$

Введемо такі позначення: $Q_{11} = C_{11} - C_{13}^2 / C_{33}$; $Q_{12} = Q_{21} = C_{12} - C_{13} C_{23} / C_{33}$; $Q_{22} = C_{22} - C_{23}^2 / C_{33}$; $Q_{66} = C_{66}$.

Тоді система рівнянь (37) перепишеться в такий спосіб:

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{21} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_6 \end{pmatrix}. \quad (38)$$

В процесі деформування полімерного матеріалу між зубчастими валками і валками профілю Рело полімерні відходи будуть повертатися на різні кути в площині обробки. У цьому випадку постає задача визначення релаксаційних характеристик полімерного матеріалу у напрямку дії визначеної системи сил [7].

При повороті системи координат, відносно якої прикладаються навантаження, на певний кут θ умова інваріантності в'язкопружного потенціалу (37) матиме такий вигляд [3].

Отже, для полімерного матеріалу, який повернений відносно осі системи координат, що є перпендикулярною площині симетрії, закон перетворення тензора C_{ijkl} в узагальненому законі Гука [2, 3] та у в'язкопружній постановці буде мати такий вигляд [Кристансен].

$$C'_{ijkl} = a_{im} a_{jn} a_{ko} a_{lp} C_{mnop} \quad (39)$$

Прийmemo $1', 2', 3'$ (або x', y', z') – нові осі системи координат $1, 2, 3$ (або x, y, z), повернені відносно осі 3 (або z), тоді відповідно до [3] можна записати:

$$\begin{aligned}
C'_{11} &= m^4 C_{11} + 2m^2 n^2 \cdot (C_{12} + 2C_{66}) + 4mn \cdot (m^2 C_{16} + n^2 C_{26}) + n^4 C_{22}, \\
C'_{12} &= m^2 n^2 \cdot (C_{11} + C_{22} - 4C_{66}) - 2mn \cdot (m^2 - n^2) \cdot (C_{16} - C_{26}) + (m^4 + n^4) \cdot C_{12}, \\
C'_{13} &= m^2 C_{13} + n^2 C_{23} + 2mn C_{36}, \\
C'_{16} &= m^2 \cdot (m^2 - 3n^2) \cdot C_{16} - mn \cdot (m^2 C_{11} - n^2 C_{22} - (m^2 - n^2) \cdot (C_{12} + 2C_{66})) + n^2 \cdot (3m^2 - n^2) \cdot C_{26}, \\
C'_{22} &= n^4 C_{11} + 2m^2 n^2 \cdot (C_{12} + 2C_{66}) - 4mn \cdot (m^2 C_{26} + n^2 C_{16}) + m^4 C_{22}, \\
C'_{23} &= n^2 C_{13} + m^2 C_{23} - 2mn C_{36}, \\
C'_{26} &= m^2 \cdot (m^2 - 3n^2) \cdot C_{26} - mn \cdot (n^2 C_{11} - m^2 C_{22} + (m^2 - n^2) \cdot (C_{12} + 2C_{66})) + n^2 \cdot (3m^2 - n^2) \cdot C_{16}, \\
C'_{33} &= C_{33}, \\
C'_{36} &= (m^2 - n^2) \cdot C_{36} + mn \cdot (C_{23} - C_{13}), \\
C'_{44} &= m^2 C_{44} - 2mn C_{45} + n^2 C_{55}, \\
C'_{45} &= (m^2 - n^2) \cdot C_{45} + mn \cdot (C_{44} - C_{55}), \\
C'_{55} &= m^2 C_{55} + 2mn C_{45} + n^2 C_{44}, \\
C'_{66} &= m^2 n^2 \cdot (C_{11} + C_{22} - 2C_{12}) + 2mn \cdot (m^2 - n^2) \cdot (C_{22} - C_{16}) + (m^2 - n^2)^2 \cdot C_{66},
\end{aligned} \quad (40)$$

де $n = \sin \theta$, $m = \cos \theta$, θ – кут повороту.

Отримаємо формули перетворення для співвідношення напруження – деформація при тому ж таки плоскому напруженому стані. Для ортотропного полімерного матеріалу, що володіє тільки однією площиною симетрії, яка співпадає з площиною 1, 2 (або x , y) системи координат, співвідношення напруження – деформація (6) можна узагальнити таким чином:

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{16} \\ Q_{21} & Q_{22} & Q_{26} \\ Q_{61} & Q_{62} & Q_{66} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_6 \end{pmatrix}, \quad (41)$$

де

$$Q_{ij} = C_{ij} - \frac{C_{i3} C_{j3}}{C_{33}}. \quad (42)$$

Наявність компонент $Q_{16} = Q_{61}$, $Q_{26} = Q_{62}$ в (42) відображає взаємодію між нормальними та дотичними напруженнями і деформаціями. Компоненти Q_{ij} та C_{ij} при повороті системи координат підпорядковуються одному і тому ж закону перетворення (39) як компоненти тензора четвертого рангу. Відповідно до [3, 8] перетворення (40) можна записати в досить компактній формі.

Ввівши позначення

$$\begin{aligned}
m^4 &= \frac{1}{8}(3 + 4\cos 2\theta + \cos 4\theta), \\
m^3 n &= \frac{1}{8}(2\sin 2\theta + \sin 4\theta), \\
m^2 n^2 &= \frac{1}{8}(1 - \cos 4\theta), \\
mn^3 &= \frac{1}{8}(2\sin 2\theta - \sin 4\theta), \\
n^4 &= \frac{1}{8}(3 - 4\cos 2\theta + \cos 4\theta)
\end{aligned} \quad (43)$$

і підставляючи їх в (41) з врахуванням (40) компоненти Q_{ij} перетворюються до такого вигляду

$$\begin{pmatrix} Q'_{11} \\ Q'_{22} \\ Q'_{12} \\ Q'_{66} \\ 2Q'_{16} \\ 2Q'_{26} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_1 & U_2 & 2U_6 & U_3 & U_7 \\ U_1 & -U_2 & -2U_6 & U_3 & U_7 \\ U_4 & 0 & 0 & -U_3 & -U_7 \\ U_5 & 0 & 0 & -U_3 & -U_7 \\ 0 & 2U_6 & -U_2 & 2U_7 & -2U_3 \\ 0 & 2U_6 & -U_2 & -2U_7 & 2U_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ \cos 2\theta \\ \sin 2\theta \\ \cos 4\theta \\ \sin 4\theta \end{pmatrix}, \quad (44)$$

де

$$\begin{aligned}
 U_1 &= \frac{1}{8}(3Q_{11} + 3Q_{22} + 2Q_{12} + 4Q_{66}), \\
 U_2 &= \frac{1}{2}(Q_{11} - Q_{22}), \\
 U_3 &= \frac{1}{8}(Q_{11} + Q_{22} - 2Q_{12} - 4Q_{66}), \\
 U_4 &= \frac{1}{8}(Q_{11} + Q_{22} + 6Q_{12} - 4Q_{66}), \\
 U_5 &= \frac{1}{8}(Q_{11} + Q_{22} - 2Q_{12} + 4Q_{66}), \\
 U_6 &= \frac{1}{2}(Q_{16} + Q_{26}), \\
 U_7 &= \frac{1}{2}(Q_{16} - Q_{26}).
 \end{aligned} \tag{45}$$

Безпосередньо з системи рівнянь (45) випливають такі інваріантні властивості:

$$\begin{aligned}
 Q'_{11} + Q'_{22} + 2Q'_{12} &= Q_{11} + Q_{22} + 2Q_{12}, \\
 Q'_{66} - Q'_{12} &= Q_{66} - Q_{12}.
 \end{aligned} \tag{46}$$

Вище змодельований напружено-деформований стан, що створюється в полімерному матеріалі при впливі на нього зубчастими валками. В результаті структура полімерного матеріалу орієнтується і залежно від прикладеного навантаження може бути зруйнована на вершинах зубців.

Далі орієнтований полімерний матеріал потрапляє в між валками профілю Рело, де він піддається впливу напружень стиску та зсуву. Припустимо, що орієнтований полімерний матеріал під впливом напружень зсуву розшаровується вздовж площини зсуву. Уявимо, що полімерний матеріал з орієнтованою структурою представляє собою утворений регулярною послідовністю ортотропних шарів.

Для того, щоб відшарувати один шар від іншого необхідно створити такий напружений стан в полімерному матеріалі, в результаті якого під дією напруження зсуву один шар полімеру буде переміщатися відносно іншого, руйнуючи тим самим адгезійні зв'язки між шарами.

Розглянемо створення такого плоского напруженого стану, який призведе до зсуву одного шару відносно іншого. Рівнодіючі напружень для такого напруженого стану в полімерному матеріалі записується відповідно до [3] у такому вигляді

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ B_{21} & B_{22} & B_{26} \\ B_{61} & B_{62} & B_{66} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_6 \end{pmatrix}, \tag{47}$$

де

$$B_{ij} = \sum_{k=1}^n (Q'_{ij})_k h_k, \tag{48}$$

де h_k – товщина k -го шару полімерного матеріалу.

Розглянемо для прикладу член B_{11} . Перепишемо рівняння (48) у такому вигляді

$$B'_{11} = \sum_{k=1}^n (Q'_{11})_k h_k, \tag{49}$$

і визначимо значення в'язкопружної константи B'_{11} в напрямку i . Прийmemo, що вісі координатної системи 1, 2 співпадають з головними напрямками ортотропії даного шару. Таким чином, з рівняння (44) випливає

$$(Q'_{11})_k = U_1 + U_2 \cos 2\alpha + U_3 \cos 4\alpha, \tag{50}$$

де α – кут між напрямком орієнтованої структури полімеру і напрямком його подачі в простір між валками профілю Рело. Позначимо загальну товщину полімерного матеріалу через h_2 . Припустимо, що всі шари полімеру будуть однакові за товщиною, яка визначається за такою формулою:

$$h_k = \frac{h_2}{n}. \tag{51}$$

З рівнянь (49) та (50) з урахуванням (51) отримаємо

$$B'_{11} = \frac{h_2}{n} \left(U_1 + U_2 \sum_{k=1}^n \cos 2\alpha + U_3 \sum_{k=1}^n \cos 4\alpha \right). \quad (52)$$

Нехай будь-який напрямок деформації полімерного матеріалу буде повернутий на кут ϕ відносно попередньої орієнтації. Тоді в'язкопружні та інші властивості полімерного матеріалу в напрямку, поверненому щодо напрямку орієнтації на кут ϕ , можна виразити з рівняння (52):

$$B''_{11} = \frac{h_2}{n} \left(U_1 + U_2 \sum_{k=1}^n \cos 2(\alpha - \phi) + U_3 \sum_{k=1}^n \cos 4(\alpha - \phi) \right). \quad (53)$$

Використовуючи тригонометричні тотожності, отримаємо

$$B''_{11} = \frac{h_2}{n} \left(U_1 + U_2 \cos 2\phi \sum_{k=1}^n \cos 2\alpha + U_3 \sin 2\phi \sum_{k=1}^n \sin 2\alpha + U_3 \left(\cos 4\phi \sum_{k=1}^n \cos 4\alpha + \sin 4\phi \sum_{k=1}^n \sin 4\alpha \right) \right). \quad (54)$$

Аналогічно можна отримати вирази для повного комплексу в'язкопружних постійних полімерного матеріалу, необхідних для визначення технологічної деформації, що призведе до його розшарування.

З рівняння (47) може бути отримане зворотнє співвідношення

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{16} \\ L_{21} & L_{22} & L_{26} \\ L_{61} & L_{62} & L_{66} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_6 \end{pmatrix}, \quad (55)$$

де $L_{11} \dots L_{66}$ – податливості полімерного матеріалу, $L = B^{-1} = \frac{1}{|B|} \cdot B^T$, де $|B|$ – визначник вихідної

матриці B ; B^T – транспонована матриця алгебраїчних доповнень відповідних елементів матриці B .

Під час розв'язання задачі у разі зсуву полімерного матеріалу вздовж трьох паралельних площин можна використовуючи викладений вище метод визначати технологічні деформації зсуву, які необхідно створити технологічним обладнанням, для забезпечення розшарування орієнтованого полімерного матеріалу. Полімерним матеріалом, що піддається напруженням зсуву, будемо вважати такий матеріал, в якому шари, які відносно переміщуються, знаходяться в умовах плоского напруженого стану.

Для того, щоб забезпечити розшарування полімерного матеріалу, необхідно між шарами створити такі нормальні напруження σ_{2k} і напруження зсуву σ_{6k} , щоб вони перевищили допустимі напруження, що створюються силами в'язку між шарами.

З рівняння (34), враховуючі введені [1, 2] позначення, визначимо деформації в орієнтованому полімерному матеріалі, на який діють напруження стиску і зсуву:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{\sigma_1}{E_1} - \sigma_2 \frac{\nu_{21}}{E_2}; \\ \varepsilon_2 &= -\sigma_1 \frac{\nu_{12}}{E_1} + \frac{\sigma_2}{E_2}; \\ \gamma_{12} &= \frac{\sigma_{12}}{G_{12}}, \end{aligned} \quad (56)$$

Так як зовнішнє навантаження, що призводить до відокремлення шарів, задане, нормальні напруження в напрямку 1: σ_1 та напрямку 2: σ_2 , напруження зсуву σ_{12} мають бути еквівалентними середньому нормальному або тангенціальному напруженню.

В результаті деяких перетворень системи (56) з урахуванням рівності напружень і деформацій в шарах отримаємо:

$$\begin{aligned} A_{11}\sigma_1 &= \frac{2}{h_2} \left(\frac{\hat{\sigma}}{E_{11b}} \right), \\ A_{22}\sigma_2 &= -\frac{2}{h_2} \left(\nu_{12} \frac{\hat{\sigma}}{E_1} \right), \\ A_{33}\sigma_{12} &= \frac{4}{h_2} \left(\frac{\sigma_{12}}{G_{12}} \right). \end{aligned} \quad (57)$$

де $A_{11} = \frac{4}{E_1 h_2}$; $A_{22} = \frac{4}{E_2 h_2}$; $A_{33} = \frac{4}{G_{12} h_2}$; $A_{12} = A_{21} = -\frac{4\nu_{12a}}{E_1 h_2}$, де $\hat{\sigma} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$ – еквівалентне напруження розтягу.

Розв'язуючи рівняння (57) відносно нормальних напружень σ_1 і σ_2 , отримаємо

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= -\frac{4\hat{\sigma}}{E_1 h_2} \left(\frac{A_{22} + \nu_{12} A_{12}}{A_{11} A_{22} + A_{12}^2} \right), \\ \sigma_2 &= -\frac{4\hat{\sigma}}{E_2 h_2} \left(\frac{A_{12} + \nu_{12} A_{11}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} \right), \\ \sigma_{12} &= \frac{4\sigma_{12}}{h_2 G_{12} A_{33}}.\end{aligned}\quad (58)$$

У випадку дослідження плоского напруженого стану полімерного матеріалу при дії на нього зубчатих валків і валків профілю Рело, з рівняння (34), враховуючи рівняння (58) та (57), отримаємо вирази для визначення деформації всього матеріалу і окремих шарів в напрямках дії технологічного навантаження:

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \frac{\hat{\sigma}}{E_1^2 h_2} \cdot \frac{\frac{1}{E_2 h_2} - \frac{\nu_{12}^2}{E_1 h_2}}{\frac{1}{E_1 E_2 h_2^2} - \left(\frac{\nu_{12}}{E_{11} h_2} \right)^2}, \\ \varepsilon_2 &= \frac{\hat{\sigma}}{E_1^2 h_2} \cdot \frac{\frac{\nu_{12}^2}{E_1 h_2} - \frac{\nu_{12}^2}{E_2 h_2}}{\frac{1}{E_1 E_2 h_2^2} - \left(\frac{\nu_{12}}{E_{11} h_2} \right)^2}, \\ \varepsilon_{12} &= \frac{\sigma_{12}}{G_{12}}.\end{aligned}\quad (59)$$

Висновки. Отже, представлений вище метод дає можливість визначати в'язкопружну деформацію полімерного матеріалу, в якому створюється складний напружено-деформований стан. Вирази для визначення деформацій полімерного матеріалу можна використовувати для розрахунку дотичних і нормальних навантаження, які мають забезпечуватися зусиллям, що створюватиме обладнання для переробки полімерних відходів, під дією яких буде відбуватися руйнування полімерного матеріалу.

Література

1. Скиба М.Є. Структурно-механічна модель полімерних виробів, отриманих литтям під тиском / М.Є. Скиба, О.М. Синюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 6 (219). – С. 27–33.
2. Синюк О.М. Математична модель анізотропних властивостей полімерних матеріалів / О.М. Синюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 1 (221). – С. 12–19.
3. Кристенсен Р.М. Введение в механику композитов / Р.М. Кристенсен ; пер. с англ. А.И. Бейля, Н.П. Жмудя ; под ред. Ю.М. Тарнопольского. – М. : Мир, 1982. – 336 с.
4. Качанов Л.М. Основы теории пластичности / Л.М. Качанов – М. : Наука, 1969. – 420 с.
5. Ландау Л.Д. Теоретическая физика : в 10-и т. Т. VII. Теория упругости : учеб. пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 248 с.
6. Блох В.И. Теория упругости / В.И. Блох.. – Харьков : Издательство Харьковского университета, 1964. – 484 с.
7. Tsai S.W., Pagano N.J. Invariant properties of composite materials.

References

1. Skyba M.E. Structural mechanical model of polymer products obtained by injection molding / M.E. Skyba, O.M. Syniuk // Herald of Khmelnytsky National University. – 2014. – № 6 (219). – P. 27–33.
2. Syniuk O.M. Mathematical model of anisotropic properties of polymer materials / O.M. Syniuk // Herald of the Khmelnytsky National University. – 2015. – No. 1 (221). – P. 12–19.
3. Christensen R.M. Introduction to the mechanics of composites / R.M. Christensen. Per. with ang. A.I. Beyle, N.P. Waving under ed. Yu.M. Tarnopolsky. – M.: World, 1982. – 336 p.
4. Kachanov L.M. Fundamentals of plasticity theory / L.M. Kachanov. – Moscow : Nauka, 1969. – 420 p.
5. Landau L.D. Theoretical physics. In 10 tons of T. VII. Theory of elasticity: Textbook. allowance / L.D. Landau, E.M. Lifshitz. – Moscow : Nauka. Gl Ed. phys.-mate Lit, 1987. – 248 p.
6. Bloch V.I. The theory of elasticity / V.I. Blokh. – Kharkiv : Publishing House of Kharkiv University, 1964. – 484 p.
7. Tsai S.W., Pagano N.J. Invariant properties of composite materials.

Рецензія/Peer review : 20.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 15.05.2018 р.

Рецензент: канд. техн. наук, доц. Полішук О.С.

МОДЕЛІ ҐРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ОСНОВ ФУНДАМЕНТІВ АРХІТЕКТУРНИХ СПОРУД ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ ПРИ ЇХ СПОРУДЖЕННІ

Під час розрахунку основ фундаментів архітектурних споруд та моделювання процесу земляних робіт при їх спорудженні необхідно підібрати модель, яка б найбільш повно відображала процеси, котрі відбуваються в робочому середовищі, тобто в ґрунті. Автором розглянуто існуючі моделі, що використовуються для описання деформування дискретних матеріалів з урахуванням властивих йому особливостей. Проведений аналіз дозволяє рекомендувати для моделювання процесів взаємодії робочих органів з ґрунтовим середовищем моделі нелінійної механіки ґрунтів. Вони враховують прояв як внутрішнього тертя, так і дилатансії. Задача зводиться до розв'язування системи нелінійних диференціальних рівнянь, причому тільки за допомогою методу послідовних наближень. На кожній ітерації розв'язується лінійна задача з урахуванням досягнутого рівня напруженого стану. Це дозволяє коригувати параметри даної моделі для кожної ітерації.

Ключові слова: основа фундаменту; дискретне середовище; внутрішнє кулонове тертя; дилатансія.

O.A. DOROFYEV

Khmelnytskyi National University

MODELS OF SOIL ENVIRONMENT FOR CALCULATIONS OF THE FOUNDATIONS OF ARCHITECTURAL BUILDINGS AND MODELING OF THE PROCESS OF EARTHWORKS AT THEIR CONSTRUCTION

When calculating the fundamentals of the bases of architectural structures and modeling the process of earthworks during their construction, it is necessary to choose a model that would most fully reflect the processes occurring in the working environment, that is, in the soil. Any soil from the positions of mechanics of a deformable body can be considered as an area filled with particles of solid material: granular, loose, granular, dispersed, etc. The particles interact with each other through a multitude of arbitrary oriented contacts that do not accept stretching efforts. Such an environment relies on the external load only due to the friction forces that arise in the contact zones of the particles. The author examines the existing models used to describe the deformation of discrete materials, taking into account peculiarities inherent to it. Models based on the premise of the theory of continuous deformable media can be divided into three groups: models with linear relationships between stresses and deformations; models with nonlinear physical dependencies, but which do not take into account the influence of internal friction; models of nonlinear soil mechanics that take into account the influence of internal friction and dilatation. The analysis allows recommending modes of nonlinear soil mechanics for modeling the processes of interaction of working parts with soil environment. Such modes take into account both internal friction and dilatation. The problem is reduced to solving a system of nonlinear differential equations, and only with the help of a method of successive approximations. At each iteration a linear problem is solved taking into account the achieved level of a strained condition. This allows you to adjust the parameters of this model for each iteration.

Key words: base of foundation; discrete environment; internal coulomb friction; dilatation.

Вступ. Інтенсивне зростання міст за межі області з добре вивченими геомеханічними характеристиками ґрунту вимагає більш ретельного підходу до описання взаємодії ґрунту не тільки з фундаментами інженерних споруд, а й робочими та рушійними органами будівельних машин при виконанні землерийних робіт.

Кінцевою метою розрахунку будь-якої споруди є оцінка її загальної стійкості, перевірка міцності конструктивних елементів та визначення загальних деформацій (осідань, зсувів, кутів повороту).

На процес взаємодії робочого або рушійного органу, наприклад, землерийної машини з ґрунтом суттєво впливають фізико-механічні властивості ґрунту. При проектуванні подібної машини необхідно вірно вибрати потужність двигуна, що можливе тільки при відомому значенні горизонтальної сили, яка направлена на утворення клину ґрунту. Але ця сила залежить від багатьох факторів, деякі з яких не те що врахувати, складно навіть визначити.

Складнощі, що виникають при подібних обчисленнях, змушують або використовувати дані натуральних досліджень, або використовувати моделі ґрунту.

Отже, виникає необхідність обґрунтування вибору механічної (реологічної) моделі середовища, яка б відображала принципові відмінності законів деформування ґрунтового середовища від класичних твердих тіл і була б забезпечена відповідним лабораторним устаткуванням для визначення необхідних розрахункових параметрів моделі.

Для розрахунків основ фундаментів будівельних споруд використовують моделі інженерної механіки двох класів: контактні моделі і моделі механіки ґрунтів, які розглядають ґрунтову основу як суцільне середовище, що деформується за особливими нелінійними законами.

Контактні моделі найчастіше реалізуються у розрахунках балок на пружній основі. Вони використовують відому гіпотезу Вінклера-Фуса про пропорційність між тиском q на контактній поверхні та її переміщенням w : $q = c \cdot w$, де c – коефіцієнт деформації (коефіцієнт «постілі»).

Коефіцієнт постілі відображає не тільки деформаційні особливості ґрунтової основи, але й залежить від жорсткості фундаменту. Тому його величину принципово неможливо обґрунтовано призначити для проектування нової споруди.

Модель Вінклера-Фуса враховує переміщення w контактної поверхні тільки в точках, де прикладене навантаження q . Переміщення ж поверхні відбувається також за зоною навантаження. Для можливості відобразити цю особливість запропоновано багато модифікованих, комбінованих моделей, графічна інтерпретація найбільш відомих з них показана на рис. 1, а (модель І. Я. Штаєрмана), рис. 1, б (модель М. М. Філоненка-Бородича), рис. 1, в (модель В. З. Власова).

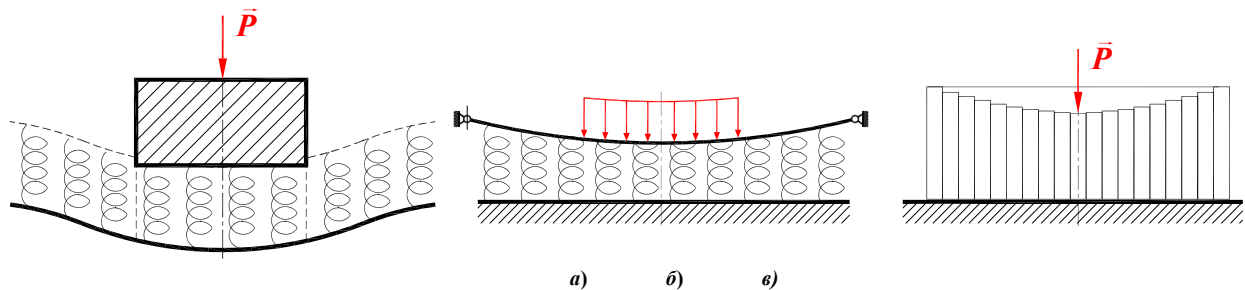


Рис. 1. Модифіковані контактні моделі:
а) модель І. Я. Штаєрмана; б) модель М. М. Філоненка-Бородича; в) модель В. З. Власова

Модель основи І. Я. Штаєрмана є комбінацією моделей простору, що деформується та коефіцієнту постелі. Автор робить допущення, що дія нормального тиску на поверхні основи призводить до виникнення двох видів переміщень. Перші отримуються як загальні деформації середовища, що лінійно деформується, а другі враховують структурні деформації поверхні ґрунту, що «змінюється» та визначаються за допомогою гіпотези коефіцієнта постелі.

М. М. Філоненко-Бородич запропонував модель, яка базується на гіпотезі коефіцієнта постелі, але враховує роботу основи поза площиною завантаження. В даній моделі відбувається нерівномірне стискування всієї ділянки ґрунту, а не тільки тієї, що розташована безпосередньо під навантаженням.

Модель В. З. Власова ґрунтується на застосуванні загального варіаційного методу автора. Основа представляється у вигляді системи стовпчиків скінченної довжини, між якими діють сили опору зсуву.

Запропоновані контактні моделі не здатні достовірно описати особливості деформування ґрунтової основи, а отже, і оцінити загальну стійкість та визначити загальні деформації споруди. Крім цього, ці моделі важко використати для моделювання процесу землерийних робіт.

Більш афективним у цих випадках є використання моделей механіки ґрунтів.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Детальний аналіз існуючих моделей для описання деформування дискретного середовища проведений авторами в [1, 2].

Існуючі на даний час моделі дискретного середовища можна класифікувати наступним чином.

Моделі зернистого середовища – ґрунтуються на співвідношеннях Амонтона-Кулона для сил, котрі виникають в кожному мікроконтакті. Найбільш детальний опис моделей даного типу наведений у монографії І.І. Кандаурова. Окремі задачі розглянуті Р.А. Мюлером, Р.Д. Міндліном, Г. Дересевичем, В.В. Ковтуном.

Моделі граничної рівноваги сипкого середовища, в основу яких покладено припущення Кулона, завдяки якому сипке середовище розглядається як тверде тіло, не здатне сприймати розтягуючі напруження. В цих моделях припускається, що єдиними можливими деформаціями є зсув по поверхням розриву у граничному стані. Розв'язки подібних задач отримали Кулон, Кульман, Ребхан, Клейн, Голушкевич та інші.

Логічним розвитком цих моделей є *моделі статичного сипкого середовища*, в яких припускається, що граничний стан одночасно досягається не тільки на поверхні розриву, але й в кожній точці розглядуваного об'єму. Значний вклад даної моделі в інженерні розрахунки зроблено В.В. Соколовським.

Одним з перших, хто запропонував *модель механіки ґрунтів деформаційного типу* був А.І. Боткін. В цих моделях використовуються незалежні закони деформування об'єму і форми. З моделями даного класу працювали Ф.М. Шихієв, Г.А. Генієв, Ю.К. Зарецький, В.Г. Столяров та інші науковці.

Але найбільш перспективними моделями для описання поведінки дискретного середовища під дією зовнішнього навантаження є клас *моделей механіки ґрунтів пластичного плин*. В цьому напрямку працювали Друкер та Прагер, Ю.М. Работнов, В.М. Ніколаєвський, А. Sawczuk, Р. Stytz, А.С. Строганов, М.В. Малишев, Ю.К. Зарецький та інші.

Постановка задачі досліджень. Земляні роботи є найбільш поширеними та трудомісткими при будь-якому будівництві. Незалежно від того, чи земляні споруди є постійними (дамби, канали тощо), чи тимчасовими (котловани, траншеї, свердловини і т.і.), вони повинні бути міцними та повинні сприймати робочі навантаження. Будь-який ґрунт з позицій механіки деформівного тіла можна розглядати як область, заповнену частинками твердого матеріалу: зернистого, сипкого, гранульованого, дисперсного і т.п. Частинки взаємодіють між собою через безліч довільно орієнтованих контактів, які не сприймають розтягуючі зусилля. Таке середовище опирається зовнішнім навантаженням тільки за рахунок сил тертя, котрі виникають в зонах контакту частинок.

Як відомо, сили кулонового тертя пропорціональні нормальним притискним контактним зусиллям, тобто середовище опирається зовнішнім навантаженням переважно завдяки силам внутрішнього сухого

тертя. Під час взаємодії дискретного середовища із елементами споруд або машин воно деформується. Ці деформації відбуваються як за рахунок ущільнення масиву, так і за рахунок взаємного проковзування жорстких частинок.

Інженерні розрахунки, що пов'язані з оцінкою взаємодії середовища даного типу з контактуючими елементами та конструкціями, зводяться до аналізу напружено-деформованого стану середовища від дії зовнішніх силових або кінематичних збурень. Після проведеного автором аналізу існуючих моделей дискретного середовища, було запропоновано використовувати реологічну модель середовища, яка описувала б його стан на усіх етапах деформування, – а саме, моделі теорії пластичності з особливими, характерними для дискретних матеріалів, умовами пластичності. В основу математичної моделі необхідно покласти залежності між напруженнями та деформаціями або між зусиллями та переміщеннями, які враховували б характерні особливості законів деформування дискретних матеріалів і їх відповідність законам пластичного деформування твердих тіл, покладених в основу класичної теорії пластичності.

Метою досліджень є підбір розрахункової моделі ґрунтових основ фундаментів, яка враховувала б особливості деформування дискретних середовищ.

Основний матеріал і результати. При розрахунку загальної стійкості ґрунтового середовища використовується бездеформаційна модель теорії граничної рівноваги сипкого середовища. Для виконання міцнісних та деформативних розрахунків споруд використовуються моделі, що побудовані на визначених залежностях між напруженнями та деформаціями або між зусиллями та переміщеннями.

Розрахунки верхніх частин будь-яких споруд (гідротехнічних у тому числі) зазвичай виконуються за допомогою відомих методів будівельної механіки. Найчастіше використовуються моделі стрижневих систем, що базуються на лінійних або нелінійних фізичних залежностях між зусиллями та переміщеннями.

А ось для оцінки напружено-деформованого стану ґрунтових основ та засипок запропоновано багато розрахункових моделей. При цьому існує два принципово різних підходи – ґрунтовий масив розглядається як *суцільне* або як *дискретне* середовище. Перший підхід базується на добре відомому апараті суцільного середовища, хоча ґрунт є насправді дискретним. Моделі ж, котрі враховують дискретність, базуються на допущеннях, що відображають фізичні процеси, які відбуваються в ґрунтовому масиві, і, в решті решт, приходиться вертатись до понять суцільного середовища – напружень, деформацій тощо. Це є результатом слабо розвинутого апарату теорії дискретних середовищ.

Моделі, що опираються на передумови теорії суцільних деформованих середовищ, можна розбити на три групи:

- моделі з лінійними співвідношеннями між напруженнями та деформаціями;
- моделі з нелінійними фізичними залежностями, але які не враховують вплив внутрішнього тертя;
- моделі нелінійної механіки ґрунтів, що враховують вплив внутрішнього тертя та дилатансії.

Лінійні моделі основ

Для побудови моделі середовища, яке деформується лінійно, використовують три типи рівнянь: а) статичні рівняння (диференціальні рівняння рівноваги); б) геометричні рівняння (залежності Коші); в) фізичні рівняння (закон Гука). Рівняння утворюють замкнену систему.

Для розглядуваного нами сипкого середовища моделі лінійно пружного тіла використовуються з деякими обмеженнями:

- перед усім, ґрунтове середовище не є пружним;
- закони деформування ґрунтів описуються складними фізичними нелінійними співвідношеннями, причому ці залежності описують не криву, а поверхню деформування [3].

Але цей тип моделі зручний для використання з тої точки зору, що лінійне рішення завжди можна розглядати як перше наближення нелінійної задачі. Тобто виникає можливість використовувати для рішення задачі ітераційного процесу.

Моделі, що базуються на нелінійних залежностях між напруженнями та деформаціями

В цих моделях для аналізу напруженого стану ґрунтового середовища використовується апарат нелінійної теорії пружності, який опирається на такі допущення: деформації вважаються малими; закон зміни об'єму описується лінійною залежністю між кульовими тензорами напружень та деформацій; закон формозміни описується нелінійною залежністю між девіаторами напружень і деформацій.

В деформаційній теорії пластичності додатково приймаються допущення: про збіг головних осей тензорів напружень та деформацій; про лінійність закону формозміни при пасивному деформуванні і, іноді, про нестисливість матеріалу.

Для розв'язання задач нелінійної теорії пружності найчастіше використовується модель середовища із степеневою залежністю між напруженнями та деформаціями. В ході розв'язання пружно-пластичних задач доцільне використання моделі, основаної на білінійній залежності між напруженнями та деформаціями. Ця залежність добре апроксимує криволінійні залежності, характерні для твердих матеріалів.

Два вище розглянутих типи моделей об'єднує те, що вони в явній формі не враховують найважливішу особливість ґрунтового середовища, – вплив середнього напруження на величину деформацій зсуву. Тому для розрахунків основ, ґрунтових засипок і т. ін. становлять інтерес моделі, котрі враховують вплив внутрішнього тертя на процес деформування.

Моделі механіки ґрунтів деформаційного типу

В моделі А.І. Боткіна закон зміни об'єму прийнятий у вигляді лінійної залежності між кульовими тензорами

$$\sigma_0 = K \cdot \varepsilon_0.$$

Закон формозміни враховує вплив середнього стискуючого напруження σ_0 і записується у вигляді наступної дробово-лінійної функції

$$\frac{\tau_0}{\sigma_0} = \frac{A\gamma_0}{B + \gamma_0}, \quad (1)$$

де σ_0 , τ_0 , γ_0 – напруження і деформації по октаедричній площині в координатній системі напруження-деформації; A , B – параметри моделі конкретного дискретного матеріалу. Залежність (1) описує поверхню деформування у формі коноїда (рис. 2, а), яка може бути представлена в координатах (рис. 2, б) сімейством кривих, кожна з яких відповідає сталому значенню $\sigma_0 = \text{const}$.

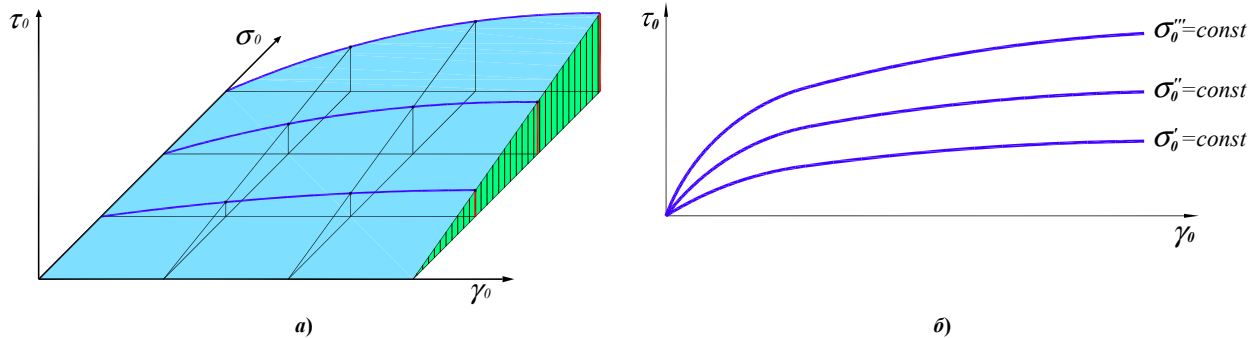


Рис. 2. Графічна інтерпретація залежностей А.І. Боткіна
а) поверхня деформування б) зрізи поверхні площинами $\sigma_0 = \text{const}$

Модель А.І. Боткіна задовільно відображає особливості деформування матеріалів з суттєвим внутрішнім тертям, тобто ґрунтів, але не враховує прояв дилатансії. Крім того, їй притаманні недоліки усіх моделей теорії пластичності деформаційного типу, а саме фізичні рівняння зв'язують напруження з досягнутими (кінцевими) деформаціями, що не дозволяє описати вплив послідовності навантаження, оскільки одним і тим самим напруженням, в залежності від "шляху" навантаження можуть відповідати різні кінцеві деформації.

До моделей розглядуваного типу належать моделі Ф.М. Шихієва, Г.А. Генієва, Ю.К. Зарецького, В.Г. Столярова та інших.

Звертає на себе увагу, що фізичні співвідношення моделей механіки ґрунтів зв'язують між собою не напруження з деформаціями, а відношення дотичних і нормальних напружень до деформацій по площинкам зсуву, що відображає вплив внутрішнього кулонового тертя не тільки в граничній, але й у дограничній стадіях деформування. Моделі не описують ефект дилатансії.

Частково прояв дилатансії, але тільки в умовах плоскої задачі, описує модель, запропонована О.В. Багрій та В.В. Ковтуном [4]. Фізичні співвідношення моделі пов'язують закони деформування об'єму і форми дискретних матеріалів, а для практичних розрахунків з використанням моделі запропоновані лабораторні прилади, які дозволяють визначити необхідні для розрахунків параметри моделі.

Отже, моделі механіки ґрунтів деформаційного типу можуть відтворити вплив внутрішнього тертя на деформування дискретного матеріалу, але не враховують прояв дилатансії. Тому вони не в повній мірі відображають специфічні особливості деформування дискретних матеріалів. Крім того, деформаційні моделі не відтворюють послідовність навантаження – можливу появу залишкових деформацій.

Моделі механіки ґрунтів пластичного плинну

В теорії пластичності, крім моделей деформаційного типу, існує клас моделей пластичного плинну, фізичні співвідношення яких формулюються як залежності між напруженнями і швидкостями деформацій, а не між напруженнями і досягнутими деформаціями. Аналогічні моделі запропоновані в механіці ґрунтів. Ці моделі принципово спроможні врахувати усі особливості деформування дискретного середовища. Вплив внутрішнього тертя на деформування дискретних матеріалів в моделях механіки ґрунтів на відміну від класичних моделей теорії пластичності відображається тим, що їх фізичні співвідношення записуються у формі залежностей між відношенням напружень τ/σ і швидкостей деформацій $\{d\varepsilon\}$, а не просто між дотичними напруженнями τ і деформаціями зсуву γ .

Однак, експериментальна перевірка моделі виявила неспівпадіння теоретичної величини швидкості дилатансії λ з експериментальним значенням.

Частково вказані розбіжності ліквідуються шляхом введення досить складних співвідношень "комбінованих" моделей пластичного плинну, багатопверхневих або моделей критичного стану.

Характерною особливістю усіх моделей механіки ґрунтів пластичного плину є те, що їх потенціальні функції зв'язують відношення напружень з відношенням швидкостей об'ємних та зсувних деформацій. Це дозволяє відобразити вплив на деформування середовища як внутрішнього тертя, так і дилатансії.

Висновки. Всі розглянуті в даній роботі моделі в тій чи в іншій мірі можуть бути застосовані для розв'язання конкретних інженерних задач. Найбільш повно особливості деформування ґрунтового середовища відображають моделі нелінійної механіки ґрунтів, що враховують прояв внутрішнього тертя та дилатансії. Розрахунок ґрунтових основ та засипок за їхньою допомогою приводить до необхідності розв'язувати систему нелінійних диференціальних рівнянь, причому характеристики середовища, поведінка якого моделюється, самі є функціями досягнутого напруженого стану. Такі розрахунки можна виконувати тільки з використанням методу послідовних наближень, коли на кожній ітерації розв'язується лінійна задача з урахуванням рівня напруженого стану, досягнутого на попередній стадії.

Література

1. Дорофєєв О. А. Математична модель взаємодії елементів машини з дискретним середовищем та методи її реалізації : дис. ... канд. техн. наук : 01.05.02 / Дорофєєв Олександр Анатолійович; Мін-во освіти і науки України, Хмельницький національний університет. – Хмельницький, 2004. – 168 с.
2. Ковтун В.В. Вибір класу механічних моделей для описання деформування дискретного середовища. / В. В. Ковтун, О. А. Дорофєєв // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 3. – С. 142–146.
3. Ковтун В.В. Вплив внутрішнього кулонового тертя та дилатансії на деформування дискретного середовища в умовах плоскої деформації. / В. В. Ковтун, О. А. Дорофєєв // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – № 3. – С. 15–20.
4. Багрій О.В. Плоска задача механіки дискретного середовища / О.В. Багрій, В.В. Ковтун // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2012. – № 3. – С. 24–29.

References

1. Dorofeyev O. A. Matematychna model' vzayemodiyi elementiv mashyny z dyskretnym seredovyschem ta metody yiyi realizatsiyi: dys. ... kand. tekhn. nauk: 01.05.02 / Dorofeyev Oleksandr Anatoliyovych; M-vo osvity i nauky Ukrayiny, Khmel'nyts'kyi natsional'nyy universytet. – Khmel'nyts'kyi, 2004. – 168 s.
2. Kovtun V.V. Vybir klasu mekhanichnykh modeley dlya opysannya deformuvannya dyskretnoho seredovyscha. / V. V. Kovtun, O.A. Dorofeyev // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2014. – Issue 3. – S.142-146.
3. Kovtun V.V. Vplyv vnutrishn'oho kulonovoho tertya ta dylatansiyi na deformuvannya dyskretnoho seredovyscha v umovakh ploskoyi deformatsiyi. / V. V. Kovtun, O. A. Dorofeyev // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – Issue 3. – S.15-20.
4. Bahriy O.V. Ploska zadacha mekhaniky dyskretnoho seredovyscha / O.V. Bahriy, V.V. Kovtun // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2012. – Issue 3. – S. 24-29.

Рецензія/Peer review : 20.04.2018 р.

Надрукована/Printed :09.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОГО КОТЛА ТА ЙОГО ПІДКЛЮЧЕННЯ ДО СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

У даній роботі розглядається модель електричного котла на 35 кВт, виготовлення за моделлю та його підключення до системи опалення з герметично замкнутим контуром теплоносія – води, що нагрівається в системі завдяки пропущенням через неї трифазного електричного струму. Створена 3D модель дозволяє проектувати подібні електродні котли залежно від вимог щодо потужності системи теплопостачання для певних площ приміщень. Розроблений котел має економічну ефективність використання, особливо під час використання його в нічний час, коли тариф на електроенергію мінімальний.

Ключові слова: модель, котел, система теплопостачання.

S. HORIASHCHENKO, V. LIUBCHIK, S. USPALENKO

Khmelnytskyi National University

DEVELOPMENT OF ELECTRIC BOILER AND ITS CONNECTION TO HEATING SYSTEMS

In this paper we consider the model of an electric boiler of 35 kW, the production on the model and its connection to the heating system with a hermetically sealed circuit of the coolant - the water that is heated in the system due to the passage through it of a three-phase electric current. The created 3D model allows the design of similar electrode boilers, depending on the requirements for the capacity of the heat supply system for certain premises. The developed boiler has economic efficiency of use especially when used at night, when the tariff for electricity is minimal. The made boiler was connected to the heat supply system, equipped with feedback. The automation of the control system clearly regulates the power consumption for constant maintenance of the water temperature, heated by the boiler in the necessary range, and quickly reacts to its change both in the positive and the negative side with minimal inertia. In order to provide all of these qualities, the system is equipped with ready-made control devices based on digital microprocessor technology, with great flexibility and high precision. The created system can be easily mounted to any heat supply system and provide heating space up to 350 m².

Key words: model, boiler, heat supply system.

Вступ

Відомо, що для даної системи теплопостачання оптимальною температурою є 90 градусів. Це зумовлюється тим, що теплопровідність теплоносія є високою. На рис. 1 показано унікальну конструкцію електроду, та його розташуванні у фланці корпусу котла. Таких електродів встановлюється 6 шт. по 2 на 3 фази. Як бачимо на рис. 2 вода потрапляє до котла і рівномірно розподіляється електродами. В даній конфігурації котла ми бачимо, що електроди розміщені паралельно, тобто дають більшу потужність і вода нагрівається швидше. Відстань між стінкою котла і електрода збільшена, тобто поверхня котла не електризується.

Спочатку вода у систему подається при кімнатній температурі. Але для ефективної роботи котла нам потрібно, щоб температура теплоносія була не менше 70 градусів.

Корисна модель [2] пояснюється кресленням, на якому представлено загальний вигляд електродного нагрівача рідини у розрізі: 1 позначений циліндричний корпус нагрівача; 2 позначені електроди, які виконують роль фазних електродів; 3 стійка струмопідвідна; 4 діелектрична втулка; 5 позначена кришка; 6 ввідний патрубок; 7 вивідний патрубок; 8 діелектричний розсікач; 9 болт і шайба кріплення кришки до циліндричного корпусу; 10 гайка і шайба кріплення фазних електродів.

В трифазному електродному нагрівачі рідини, який складається з циліндричного корпусу, який виконує роль нульового електрода, розміщено не менше шести електродів V-подібної форми, розташованих по колу, таким чином, щоб поверхні 5 електродів були паралельними. Кожен електрод закріплено на кришці за допомогою двох виводів через діелектричні втулки, ущільнені гідроізолюючим діелектричним шаром, за допомогою різьбового з'єднання. Кришка кріпиться до корпусу не менше як шістьма болтами. Циліндричний корпус оснащено ввідним патрубком, розташованим по осевій лінії корпусу. Ввідний патрубок закріплено таким чином, щоб його частина виступала у внутрішню частину 10 котла.

На внутрішній частині ввідного патрубка закріплено діелектричний розсікач. Розсікач має форму стакану, на бічній поверхні якого утворено отвори, розташовані з рівномірним кроком. Кількість отворів дорівнює кількості електродів. Розсікач закріплено таким чином, щоб отвори були спрямовані у проміжки між електродами. Сумарна площа отворів розсікача повинна бути не меншою за внутрішню площу перерізу ввідного патрубка. Висота циліндричного корпусу 15 повинна бути в два рази вищою за висоту встановлення електродів. Відстань від крайньої точки електрода до внутрішньої поверхні циліндричного корпусу повинна бути щонайменше ніж в два рази більшою за відстань між електродами.

Рідина як теплоносій надходить через ввідний патрубок 6 в діелектричний розсікач 8. Розсікач 8 розділяє потік рідини на декілька потоків, кількість яких дорівнює кількості фазних електродів 2. Потoki, сформовані розсікачем 8, надходять у циліндричний корпус 1 в проміжки між фазними електродами 2, чим забезпечується нагрів рідини, що надходить у нагрівач. Трифазний електричний струм, що проходить між

фазними електродами, нагріває рідину. 30 Використання трифазної мережі живлення підвищує безпеку використання опалювального котла, за рахунок того, що відстань між фазними електродами не більша, ніж відстань від будь-якого фазного електрода до внутрішньої поверхні циліндричного корпусу, струм між фазними електродами в 1,7 разу більший за струм між фазним електродом і циліндричним корпусом. Після нагрівання рідини перетікає у верхню частину циліндричного корпусу, в якій відсутні електроди і формується спрямований потік у вивідний патрубок. Електродний нагрівач рідини, що заявляється, на відміну від відомих пристроїв має підвищену безпеку використання пристрою, а також більше фазних електродів, що дозволяє рівномірно відбирати потужність від трифазної мережі живлення по усіх трьох фазах. А також для підвищення коефіцієнта корисної дії використовується діелектричний розсікач, який формує вхідні потоки рідини у зони нагріву.

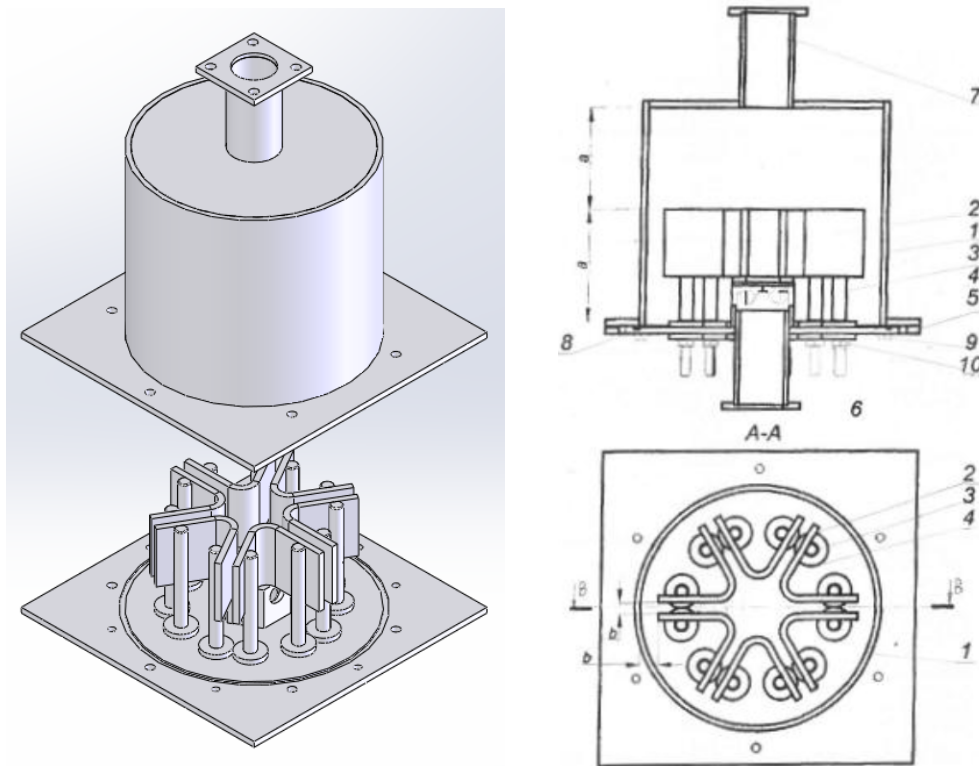


Рис. 1. Зображення 3Д моделі та внутрішньої будови трифазного електродного котла

Електродний нагрівач рідини [3] зі зворотним зв'язком містить циліндричний корпус з вивідним патрубком, кришку з підвідним патрубком, циліндричний корпус і кришка кріпляться фланцевим з'єднанням. Опалювальний котел оснащено патрубком, який з'єднує вивідний патрубок із ввідним патрубком через електромеханічний клапан, який забезпечує подачу нагрітого теплоносія із виходу опалювального котла на його вхід при температурах, менших за критичну, при яких котел виходить на режим номінального споживання електричної енергії, та електромеханічним клапаном на виході котла, який забезпечує перекриття циркуляції теплоносія в системі опалення до моменту виходу опалювального котла на режим номінального споживання електричної енергії.

Електродний нагрівач рідини оснащується колом зворотного зв'язку, яке складається з електромеханічного клапана, термодавача, циркуляційного насоса, розширювального бака та групи захисту. Електродний нагрівач рідини підключається до системи опалення через електромеханічний клапан. Для контролю температури в системі опалення використано термодавач.

Запропонована така система теплопостачання на основі електродного котла пояснюється кресленням, на якому представлена схема електродного нагрівача рідини із зворотним зв'язком: 1 – електродний нагрівач рідини; 2 – електромеханічний клапан зворотного зв'язку; 3 – електромеханічний клапан системи опалення; 4 – циркуляційний насос; 5 – термодавач зворотного зв'язку; 6 – термодавач системи опалення; 7 – розширювальний бак; 8 – група захисту; 9 – система опалення.

Електродний нагрівач рідини із зворотним зв'язком працює наступним чином. В початковий момент роботи нагрівача електромеханічний клапан системи опалення 3 закритий, а електромеханічний клапан зворотного зв'язку 2 відкритий. Цим досягається рух рідини в колі зворотного зв'язку за допомогою циркуляційного насоса 4. При подачі напруги на електроди електродного котла 1 відбувається нагрів рідини, яка циркулює у колі зворотного 30 зв'язку. По досягненні критичного значення температури, починає відкриватись електромеханічний клапан 3, чим досягається рух рідини як у колі зворотного зв'язку так і у системі опалення 9. Критична температура вибирається із умов отримання номінальної потужності споживання електродного опалювального котла. Поступове відкривання клапана 3 дозволяє забирати

частину нагрітої рідини із кола зворотного зв'язку у систему опалення 9, при 35 незначному зниженні температури у колі зворотного за рахунок подачі холодної рідини із системи опалення 9 у коло зворотного зв'язку. Після того, як показання з давачів температури зворотного зв'язку 5 та системи опалення 6 зрівнюються, клапан 2 закривається, а клапан 3 відкривається. Тоді рух рідини відбувається тільки у системі опалення 9, для забезпечення безпечності роботи системи, застосовуються розширювальний бак 7, для компенсації 40 розширення рідини при її нагріванні, група захисту 8, що забезпечує контроль тиску та аварійне відключення електродного нагрівача з одночасним зниженням тиску у системі. Електродний нагрівач рідини із зворотним зв'язком, що заявляється, на відміну від відомих пристроїв має зменшений час нагріву до максимальної робочої температури та час виходу на номінальний режим роботи по потужності.

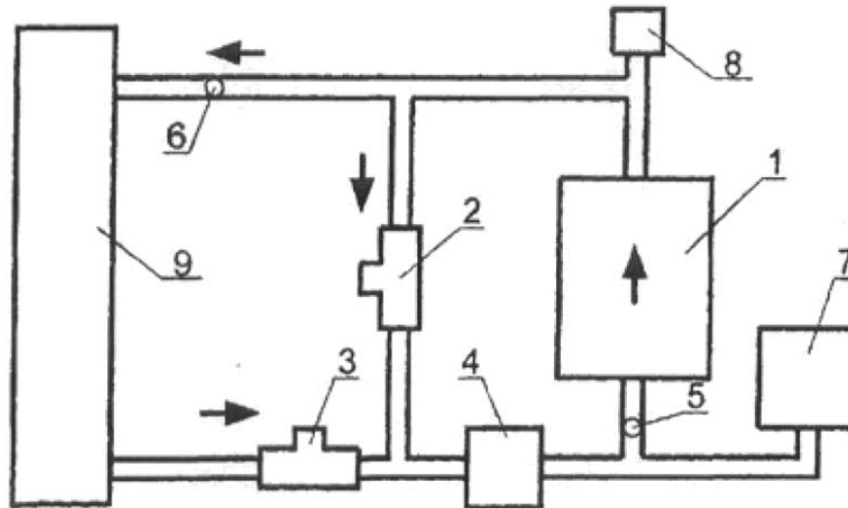


Рис. 2. Система теплопостачання на основі електродного нагрівача рідини зі зворотним зв'язком

Основна частина

Корпус нагрівача є вертикально розташований циліндр та виконаний з або зі сталі або з нержавіючої сталі, і конструктивно складається з трьох частин, забезпечених фланцями, і з'єднаних між собою болтовими з'єднаннями через гумову прокладку ущільнювача, для виключення течі в з'єднаннях. Така конструкція корпусу дозволяє легко розбирати і збирати нагрівач для його очищення і доступу до внутрішніх елементів з метою їх заміни або ремонту. Підведення холодної води від централізованої системи водопостачання здійснюється через дводюймовий водопровідний вентиль, сітчастий фільтр і запобіжний клапан з нижньої сторони бака нагрівача.

Фільтр необхідний для очищення води з метою запобігання забруднення нагрівача і передчасного виходу його з ладу. Запобіжний клапан призначений для відводу надлишкової кількості води з робочого бака при її нагріві і закритому вентилі холодної води. Відведення гарячої води з нагрівача здійснюється з верхньої його частини, так як в процесі нагрівання тепла вода піднімається догори. На відводі гарячої води встановлений водопровідний вентиль. У найнижчу точку корпусу уварений відведення з дюймовим вентилем для осушення ємності в разі ремонту або планової очистки нагрівача. Всі відводи до найближчого вентиля або клапана виконані з труб з нержавіючої сталі і уварені в корпус нагрівача. Блок пластинчастих електродів виконаний з нержавіючої сталі і розташований в нижній частині корпусу, так як більш холодна вода збирається внизу. Пластини електродів в розрізі представляють собою рівносторонній трикутник з'єднуються в зірку з нульовим проводом і підвішені на чотирьох струмоведушних стрижнях з нержавіючої сталі діаметром 20 мм. Для більшої механічної міцності і виключення можливості виникнення короткого замикання, внаслідок незначної деформації струмоведушних стрижнів, пластини з'єднані між собою болтовим з'єднанням через ізолюючі ебонітові втулки і шайби. Струмівідвідні стрижні виходять з верхньої частини бака нагрівача, розташовуються один щодо одного в вершинах рівностороннього трикутника з центром розташованим на поздовжньої осі бака, ізолювані від корпусу гумовими конусами і є введеннями для підключення силового кабелю. Використання гумових конусів дозволяє не тільки електрично ізолювати стрижні від основного корпусу, а й запобігти текти води назовні вздовж стрижнів. Для захисту нагрівача від «сухого» ходу і відключення живлення при рівні води в баку нижче встановленого у верхній частині корпусу передбачений датчик електродного типу, ізолюваний таким же способом як і силові струмоведушні стрижні. Якщо рівень води в баку опуститься нижче нижнього кінця електрода, опір між електродом і корпусом різко зростає і схема управління зніме харчування з нагрівача і подасть відповідну сигналізацію. Для вимірювання температури води на середньому рівні бічної поверхні корпусу розташований датчик температури, сигнал з якого надходить на схему управління нагрівачем. Вимірювальним органом датчика температури є чутливий терморезистор, що змінює свій опір пропорційно температурі середовища в якій він розташований, в даному випадку води. Для більшої надійності системи вище датчика температури розташоване термореле, вимірювальним органом якого є біметалічна пластина. Реле відбудовано на замикання контактів при температурі перевищує 90 °С. З метою електробезпеки корпус нагрівача

заземлюється. У нормальному режимі експлуатації нагрівача вентилі гарячої та холодної води повинні бути відкриті для безперешкодного виштовхування гарячої води назад в систему водопостачання в разі якщо вентилі у безпосереднього споживача закриті, а вентиль осушення закритий. Клапан надлишкового тиску є не робочим а аварійним. Величина уставки тиску спрацьовування для клапана вибирається залежно від тиску в системі водопостачання на рівні установки нагрівача. Для зниження теплових втрат зовні корпус електрообігрівача теплоізовлювані.

Для експериментальної перевірки було виготовлено два зразки електродного котла на 3 кВт. Для одного було вибрано матеріал – Сталь 40, для іншого – Сталь 10Х23Н18 (нержавіюча стійка до високих температур та агресивним середовищам).

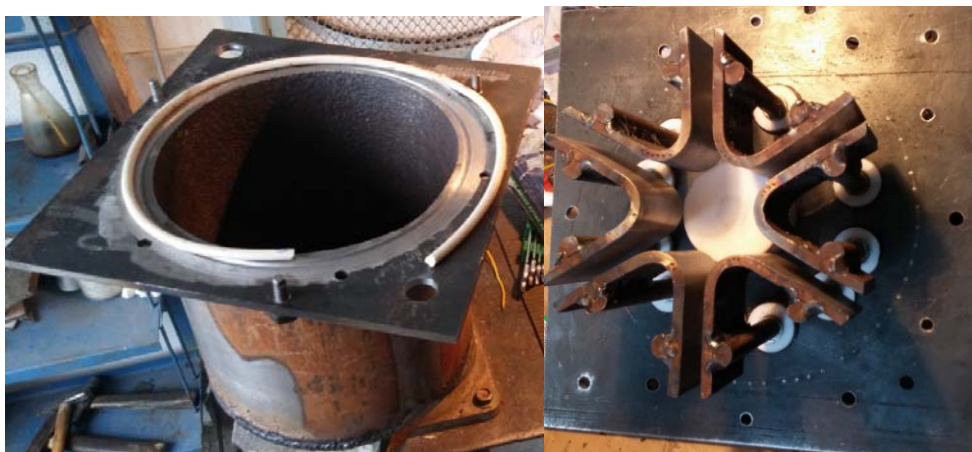


Рис. 3. Загальний вид корпусу котла на 35 кВт



Рис. 4. Загальний вигляд змонтованого в окремому модулі системі теплопостачання електродного котла на 35 кВт та блоку його управління

Система теплопостачання працює без постійного обслуговуючого персоналу, обладнана технологічними захистами, пристроями автоматизації і сигналізації при виникненні ненормальних режимів. Сама установка захищена автоматичними вимикачами або іншими пристроями, що відключають установку при перевантаженнях і коротких замиканнях. Системи автоматики і захисту швидкодіючими, для запобігання виходу з ладу всієї установки, а також для запобігання нещасних випадків і травматизму у користувачів установки і обслуговуючого персоналу.

Висновки

Комп'ютерна модель електродного котла на 35 кВт була виготовлена у двох варіантах: зі сталі 40 та сталі 10Х23Н18. Процес виготовлення показав простоту монтування та складання котла незалежно від матеріалу. Виготовлений котел був підключений до системи теплопостачання, що оснащена зворотнім зв'язком. Автоматика управління системи чітко регулює споживану потужність для постійного підтримання температури води, що нагрівається котлом, в необхідному, як можна більш вузькому діапазоні, і швидко реагує на її зміну як в позитивну так і негативну сторону з мінімальною інерційністю. Для забезпечення всіх цих якостей в даній системі встановлені готові регулюючі пристрої на основі цифрової мікропроцесорної техніки, що мають велику гнучкість і високу точність. Створена система може легко монтуватись до будь якої системи теплопостачання і здійснювати опалення приміщення до 350 м².

Література

1. Параска Г.Б. Дослідження впливу конструктивних параметрів обладнання на ефективність нагрівання та акумулювання тепла в теплоаккумуляторі / Г.Б. Параска, С.Л. Горященко, А.І. Гордєєв, Є.О. Голінка // Materials Of The Xii International Scientific And Practical Conference Modern European Science (2016 June 30 – July 7, 2016). Volume 9: Chemistry And Chemical Technology Mathematics Technical Science. – Sheffield Science And Education LTD, 2016. – Р. 42–46.
2. Горященко С.Л. Моделювання теплових процесів тепло акумулятора / С.Л. Горященко, Є.О. Голінка // ВОТТП : матеріали XIII міжнародної науково-техн. конф. – 2014. – С. 152–153.
3. Параска Г.Б. Аналіз теплового стану цеху азотування металевих виробів та модернізація його опалення / Г.Б. Параска, С. Л. Горященко, А. В. Вітюк, Є. О. Голінка // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 6. – С. 44–46.

References

1. Paraska H.B. Doslidzhennia vplyvu konstruktyvnykh parametriv obladnannia na efektyvnist nahrivannia ta akumuliuvannia tepla v teploakumulatori / H.B. Paraska, S.L. Horiashchenko, A.I. Hordieiev, Ye.O. Holinka // Materials Of The Xii International Scientific And Practical Conference Modern European Science (2016 June 30 – July 7, 2016). Volume 9: Chemistry And Chemical Technology Mathematics Technical Science. – Sheffield Science And Education LTD, 2016. – R. 42–46.
2. Horiashchenko S.L. Modeliuvannia teplovykh protsesiv teplo akumulatora / S.L. Horiashchenko, Ye.O. Holinka // VOTTP : materialy XIII mizhnarodnoi naukovo-tekh. konf. – 2014. – S. 152–153.
3. Paraska H.B. Analiz teplovoho stanu tsekh azotuvannia metalevykh vyrobiv ta modernizatsiia yoho opalennia / H. B. Paraska, S. L. Horiashchenko, A. V. Vitiuk, Ye. O. Holinka // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2014. – № 6. – S. 44–46.

Рецензія/Peer review : 10.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 15.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК: 687.016.(075)

А.Л. СЛАВІНСЬКА
Хмельницький національний університет**МОДЕЛЬ КОРЕГУВАННЯ ЕТАПІВ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ПІДГОТОВКИ
ВИРОБНИЦТВА ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ РІЗНИХ ЦІНОВИХ ГРУП**

У статті наведені моделі управління інформаційними системами етапів конструкторської підготовки виробництва за ознаками критичності показників технологічності в цінових групах моделей промислової серії.

Ключові слова: конструкторська підготовка, життєвий цикл виробу, серія моделей, цінова група, виробнича технологічність, критичний рівень показників.

A.L. SLAVINSKA
Khmelnytskyi National University**MODEL OF CORRECTION THE DESIGN STAGES OF GARMENTS OF DIFFERENT PRICE GROUPS**

The strategy of forming the clothing range at the specific enterprise is the obligatory element of enterprise's advancement conception. It foresees the complex engineering design that is to prolong the life cycle of the product. The main objective of the study is to develop a model of correction the clothing design stages taking into account the price group of the given garment. The forming of information system of each clothing design stage is considered on the basis of the relationship of quality indices, which represent consumer, technical and economic levels of quality. The assessment model of performance characteristics of clothing depends on three price groups of consumers, the level of ability to pay of which are as follows: high, middle, and low. The model is based on implementation of modules of databases that are referred to style, fabric, and sewing techniques. Hypothetical capsules of the outfits of model series take into account three variations of clothing design. The first one refers to the maturity stage of the clothing range. Second capsule characterizes the saturation stage and shows the need to recheck the conceptual group of clothes styles. Third capsule that reflects the stage of increase demands a new approach to the clothing range. Optimization of the garment life cycle is carried out on the basis of a restrictive rule of preparing models of industrial series. The rule is based on the ratio of original and unified parts in the assessment of the criticality of the performance characteristics, which characterize garments of various price groups. The graph of managing clothing design situations models the tactical level of the clothing design stages. It provides an operational level of regulation of indicators taking into account price groups in the stages of the life cycle.

Keywords: clothing design, garment life cycle, series of models, price group, performance characteristics, critical level of indices.

Вступ

XXI сторіччя, завдяки розвитку комп'ютерних технологій, розширює для завдань оцінки якості об'єктів проектування можливості застосування теорії «розпізнавання образів», оскільки створені умови для накопичення достатньо значного обсягу гіпотетичних моделей для навчальної вибірки адекватного оцінювання будь-якого об'єкта. Програмне забезпечення сучасних ЕОМ відповідає алгоритму застосування поетапного розрахунку показників відповідно до вказаної цільової функції і рівня експертної достовірності.

Складна ієрархія структури швейного виробу достатньо повно описується рівнями переходів елемента в систему, що забезпечує типізацію процесів проектування і виготовлення з урахуванням маркетингових досліджень споживчого попиту для оперативного управління виробничою діяльністю.

Застосування моделі адресного управління ціновими групами виробів для подовження життєвого циклу є актуальним для завдань гнучкої оперативної цінової переорієнтації виробництва та збереження стабільності технологічних режимів в умовах діючого підприємства.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Завдання підвищення ефективності сучасних технологічних процесів виготовлення одягу на засадах капсульного проектування асортименту за ознаками споживчих вподобань [1, 2] створює передумови продовження життєвого циклу моделей на ринку шляхом забезпечення стабільності показників якості як в етапах проектування, так і в етапах виробництва [3].

Дослідженнями [4] математично доведено переваги проектування не одиначної моделі, а серії моделей для оптимізації допустимих конструктивних рішень і скорочення КПВ.

Алгоритми застосування інформаційних масивів конструктивно-технологічних рішень моделей виробу, запропонований в [5] містить оператори виключення помилок, оскільки базується на синергетичних зв'язках систем.

Ознаки функціональності виробу в ієрархії декомпозиції елементів в конструктивній і технологічній взаємодії з позицій забезпечення технологічності досліджені у формі контекстних діаграм і реалізовані орг графами функціональних відношень [6].

Математичні моделі розчленування виробу на складові частини (деталі, складальні одиниці і комплекси) [7, 8] надають опис незалежного паралельного складання, що скорочує цикл загального монтажу виробу, покращує умови складання та контролю складових частинах виробу і надає можливість застосування типових процесів у проектуванні та виготовленні складальних одиниць [4].

Розроблена в [1] номенклатура показників якості швейних виробів забезпечує відповідність

вимогам використання в етапах КПВ складових частин конструкцій, відпрацьованих на технологічність і освоєних у виробництві.

Мета і завдання досліджень

Мета дослідження: розробка моделі цінового управління процесами типізації етапів конструкторської підготовки виробництва.

Завдання дослідження:

1. Обґрунтувати застосування стадій життєвого циклу продукції на засадах типізації процесів в етапах конструкторської підготовки виробництва.
2. Дослідити логістику модифікування моделей виробу з урахуванням цінових груп.
3. Розробити алгоритм конструкторської підготовки виробництва із виділенням оперативного рівня визначення показників виробничої технологічності.

Виклад основного матеріалу

Асортиментна стратегія є обов'язковим елементом концепції розвитку підприємства і передбачає комплексну інженерну підготовку виробництва для продовження життєвого циклу продукції. Концепція інтенсифікації процесу розробки і постановки нових моделей на потік масового виробництва реалізується новими підходами до планування і управління процесами в конструкторській підготовці виробництва.

За дослідженнями [5] оперативне планування конструкторської підготовки виробництва (КПВ) забезпечують модулі рівнів підпорядкованості композиційних, конструктивних та технологічних ознак в характеристиці цільової функції об'єкта проектування. Оскільки в умовах масового підприємства для КПВ використовуються процеси робочого та промислового проектування [9], маршрут якісних перетворень ознак новизни асортименту має вигляд: нова форма (Н) → нова конструкція (М) → сучасна конструкція (С) → типова конструкція (Т).

Найчастіше промислова колекція підприємства в процесах КПВ проробляється в категоріях В (зона масової моди) та С (зона постійного попиту) [2]. Для моделей зони В (це перспективні моделі базової форми асортименту) адресність елементів форми доцільно розглянути з позицій функціональної ефективності та однотипності властивостей предметів праці. Моделі зони С (моделі сезонних колекцій асортименту) оптимізують за технологічною ефективністю відмінних морфологічних структур шляхом мінімізації операцій модифікування членувань основних формоутворюючих деталей на засадах параметричної типізації, розглянутих в [3, 10, 11].

Зниженню конкурентних ризиків в сучасних ринкових умовах сприяє принцип адресності ціни виробу, який базується на мобільному оновленні асортименту, застосуванні уніфікованих технологій та типового обладнання у напрямку зниження собівартості продукції.

Отже, принцип адресності ціни ґрунтується на показниках виробничої технологічності виробу, крім того диференціація споживачів за відношенням до моди адекватно характеризує цінові сегменти швейної продукції.

Модель кваліметричної оцінки виробничої технологічності конструкції швейних виробів враховує три цінові групи для споживачів з високим, середнім та низьким рівнем платоспроможності [13], яка ґрунтується на застосуванні в проектуванні таких модулів бази даних – конструкція (1), пакет матеріалів (2), методи обробки (3). З таблиці 1 видно, що чим вищий ціновий рівень виробу, тим більша трудомісткість виготовлення, якісніші матеріали пакету виробу, складніша конструкція та методи обробки.

Таблиця 1

Проектування моделей промислового виробництва різних цінових груп з урахуванням цільової аудиторії

Модуль бази даних	Вхідні дані проектування виробів різних цінових сегментів		
	Цінова група		
	висока	середня	низька
1	2	3	4
1. Конструкція виробу	Нова за засобами перетворень конструктивних зон деталей в базовій формі виробу. Моделі зони В, групи М (модна), С (сучасна) за тенденціями сезону. Кодове слово Fashion.	Типізована, раціональна за засобами членувань поверхні основних деталей з використанням змінюваності конфігурації розмірів деталей в заданому діапазоні. Моделі зони С, групи С (сучасна), Т (типова) як найактуальніші і вдалі види асортименту. Кодове слово Bestseller.	Типова в базовому асортименті з логотипом торгової марки для цільової аудиторії з використанням уніфікації зрізів для збереження стабільності параметрів функціональних вузлів. Моделі зони С, група Т. Кодове слово Image.

Продовження табл. 1

1	2	3	4
2. Пакет матеріалів	Сучасні матеріали з натуральних волокон. Брендний дизайн оформлення поверхні. Прокладки різних структур для надання форми.	Класичні змішані матеріали верху та підкладки. Термоклейові прокладкові матеріали відомих фірм.	Синтетичні матеріали з незначним вмістом натуральних волокон. Звужений за ціною асортимент клейових прокладкових матеріалів.
3. Методи обробки	Спільність обробки однотипних вузлів. Регламентованість технології оброблення модельних особливостей на сучасному обладнанні. Можливе застосування чи імітація ручної обробки.	Компроміс між високою та низькою ціною групою, повторюваність видів швів в складальних одиницях, максимальне використання існуючого на підприємстві обладнання.	Проста, нетрудомістка технологія при мінімальній ВТО. Застосування уніфікованих деталей в обробленні вузлів.

Дзеркало статистики оновлення асортименту, з позицій скорочення трудомісткості КПВ, пропонується формувати шляхом поєднання концепції якісних перетворень моделей промислової серії з ціновими сегментами споживачів (рис. 1, 2).

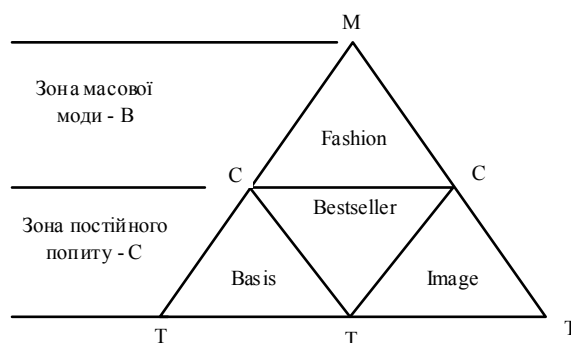


Рис. 1. Тріадна модель балансу новизни моделей промислової серії виробу різних цінкових груп

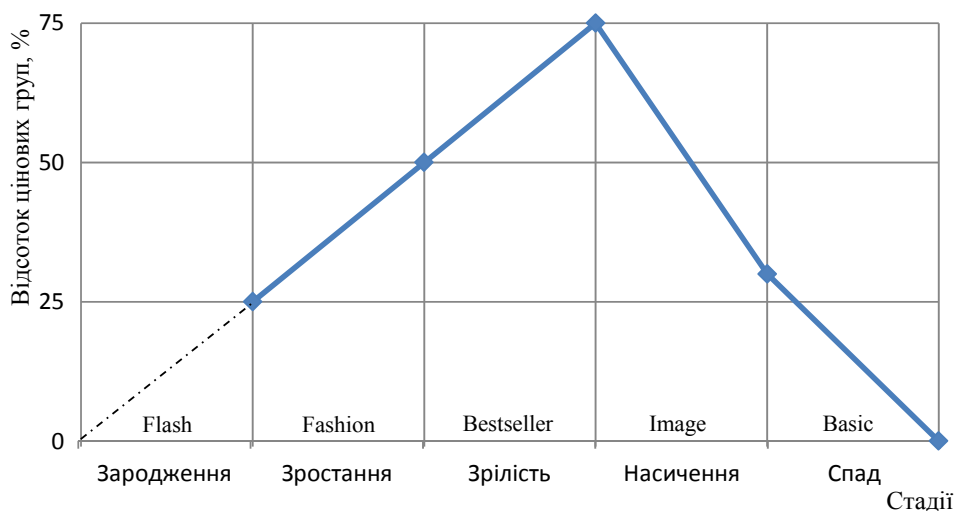


Рис. 2. Життєвий цикл оновлення промислової серії з урахуванням цінкових груп

Відлік часу життєвого циклу виробу в межах цінової групи за балансом новизни складає 25%. Оскільки стадії зародження і спаду попиту на продукції мають вагомість 20%, ці точки передбачають переключення відповідно на пошук гостро модної асортиментної групи з кодовим словом Flash та виведення з ринку базового асортименту для цільової аудиторії, кодове слово Basis.

Гіпотетична капсула комплектів промислової серії виробів з урахуванням цінкових груп враховує три варіанти конструкторської підготовки до запуску у виробництво:

Варіант 1 – Fashion, Bestseller, Image;

Варіант 2 – Bestseller, Image, Basis;

Варіант 3 – Flash, Fashion, Bestseller.

- Капсула 1 характеризує стадію зрілості асортименту і свідчить про стабільність попиту на моделі капсули.
- Капсула 2 характеризує стадію насиченості і підтверджує необхідність перегляду концептуальної групи Basis для виведення з ринку.
- Капсула 3 характеризує стадію зростання і вимагає нового підходу з позицій гостро модності асортименту.

Запропонована схема капсульного проектування промислової серії забезпечує дотримання умов конкурентної рівноваги в продовженні життєвого циклу продукції.

Відпрацювання конструкції на технологічність будь-яких промислових виробів встановлена стандартами Єдиної системи технологічної підготовки виробництва (ЄСПВ) [8].

Враховуючи вимоги щодо організації життєвого циклу за ознаками конкурентоспроможності швейних виробів більш вагомим показником є виробнича технологічність конструкції, оскільки в ній задіяні чинники прихованого попиту в ринкових стосунках як психологічного, так і економічного плану.

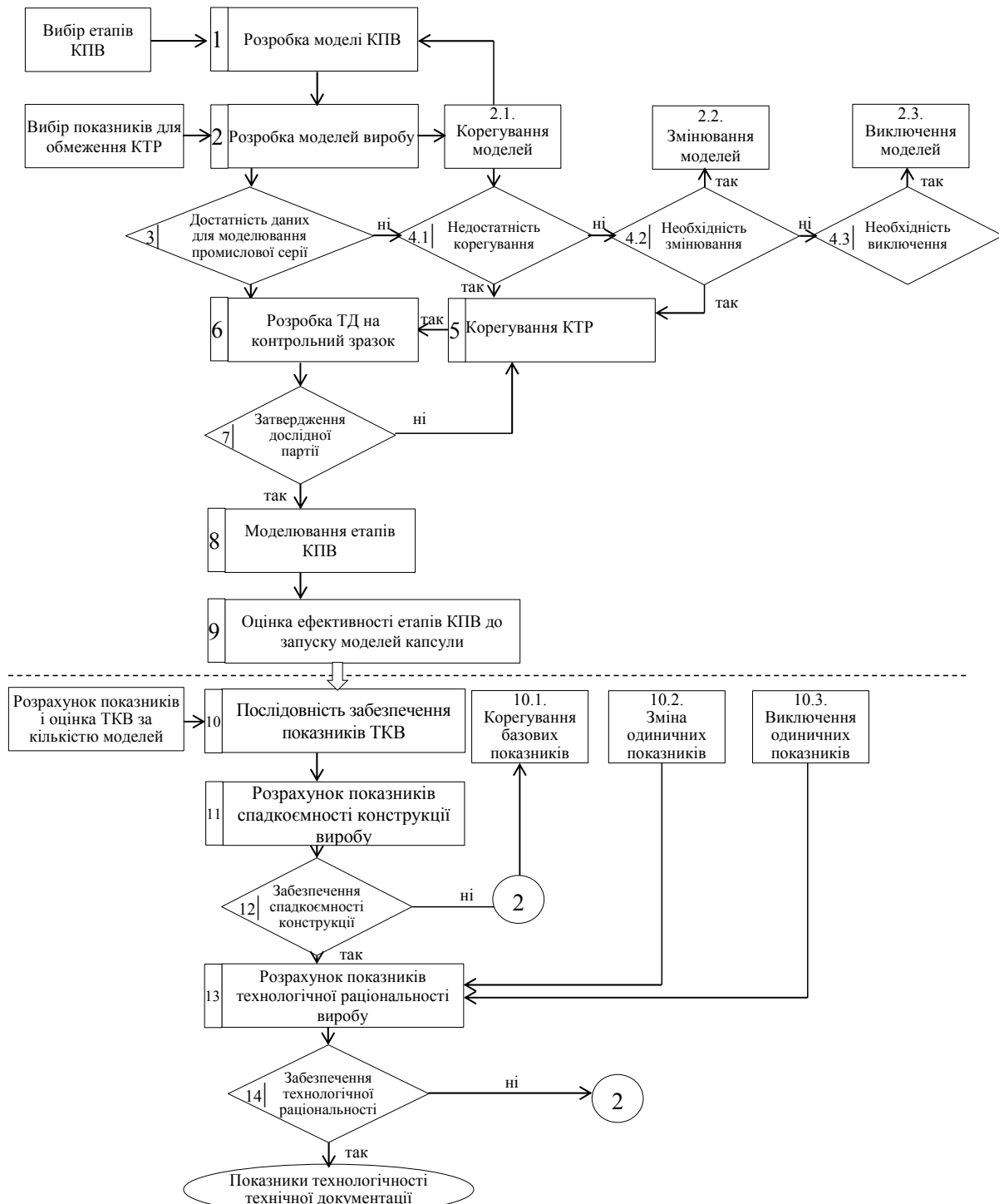


Рис. 3. Алгоритм моделювання процесів КППВ промислової серії виробів за показниками технологічності

Для скорочення обсягу робіт і часу на оцінку ТКВ складові частини класифікують за конструктивно-технологічними ознаками і виділяють від кожної класифікаційної групи типового представника, показники технологічності якого переносять на всіх представників однотипних конструкцій.

Кількісна оцінка конструктивно-технологічних ознак ґрунтується на інженерно-розрахункових методах параметричного упорядкування елементів спадкоємності конструкції та технологічної раціональності їх з'єднань за рівнем застосування обладнання.

Математична модель визначення раціональної стратегії КПП на засадах технологічності конструкції виробу, алгоритм реалізації якої представлено на рис. 3, базується на цільовій функції оптимізації кількісної оцінки ТКВ по кожній зі стратегій розробки моделей.

Для завдань оптимізації моделей в умовах конкретного виробництва необхідно визначити конструктивні і технологічні обмеження у доборі функцій модифікування БК з метою утворення моделей промислової серії (блок 1).

У блоці 2 для оцінки достатності даних для модифікування розглядають рекомендації щодо змінювання моделі виробу за принципом альтернативності варіантів: а) корегувати модель; б) замінити модель; в) виключити модель. З позицій збереження стабільності технології виготовлення переважним варіантом є корегування моделі за ознакою новизни.

У блоках 6, 8 задіяні стандартні процедури розробки технічної документації (ТД) на контрольний зразок.

За базовий показник спадкоємності конструкції обрано розмірний ряд контрольних вимірів, яким підпорядковані кількісні значення ΔK корегування похідних вимірів у векторі модифікування.

Базовим показником технологічної раціональності є рівень універсальності обладнання, який залежить від однотипності технологічних операцій.

Оптимізація кількісної оцінки ТКВ виконується методом поетапної оцінки показника [13]:

Метод оцінки:

абсолютного показника ТКВ:

$$K = (k_1, \dots, k_N). \quad (1)$$

порівняльного показника ТКВ:

$$K_y = \frac{K}{K_\theta}. \quad (2)$$

показника різниці ТКВ:

$$\begin{aligned} \Delta K' &= |K - K_\theta| \\ \Delta K'' &= |I - K_y|. \end{aligned} \quad (3)$$

Функція мети для забезпечення ТКВ у цих випадках має наступний вигляд:

$$Z_a : K \rightarrow K_\theta, \quad (4)$$

$$Z_c : K_y \rightarrow I, \quad (5)$$

$$Z'_p : \Delta K' \rightarrow 0, \quad (6)$$

$$Z''_p : \Delta K'' \rightarrow 0. \quad (7)$$

Визначення критичності показників технологічності виробів для завдань організації життєвого циклу виконується з урахуванням рівнів застосування: плановий (базовий), реальний.

За ознакою критичності показники поділяються на критичні, некритичні, важливі.

Для корегування завдань послідовності введення і виведення моделей з ринку необхідно задіяти модель критичності показників планового (*Ind Plan*) і реального (*Indln*) рівнів [14].

Критичні показники

$$\Delta K_i^{Dr} \leq \Delta^* K_i^{Dr}, \quad (8)$$

$$\Delta K_i^{Dr} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } Ind Plan < Indln \\ \frac{Ind Plan - Indln}{Ind Plan}, & \text{якщо } Ind Plan > Indln \end{cases} \quad (9)$$

де $\Delta^* K_i^{Dr}$ – допустима дельта, встановлюється на основі рекомендацій відділу цін;

Ind Plan – плановий показник ефективності КПП у стадіях ЖЦ виробу;

Indln – реальний показник ТКВ у стадіях ЖЦ виробу.

$Dr \in \{I_{nor}, M_{od}, R_S, R_C\}$ – інформаційний, модельний, споживчий, ціновий напрями організації

ЖЦ відповідно.

Некритичні показники визначаються за формулою

$$p = \sum (\Delta K_i^{Dr})^2. \quad (10)$$

Важливі показники стадії ЖЦ обчислюються за формулою:

$$IndN \leq p$$

$$IndN = \sqrt{(Ind_i^{Dr})^2 * W_i^{Dr}}, \quad (11)$$

де

$$Ind_i^{Dr} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } IndPlan \leq Indln \\ (IndPlan - Indln), & \text{якщо } IndPlan > Indln \end{cases} \quad (12)$$

W_i^{Dr} – ваговий коефіцієнт новизни стадії ЖЦ.

Розроблена в [1] номенклатура показників якості швейних виробів відповідає вимозі «розпізнавання образів за допомогою спеціальної програми оцінки ТКВ [1] промислової серії. Капсула промислової серії відповідає функції комплект, тобто утворює найвищий рівень ієрархії структури об'єктів проектування.

Модель управління етапами КПВ представлено у вигляді орієнтованого графа G(S, t), де S – впорядковані пари вершин, а t – це дуги, що їх з'єднують (рис. 4).

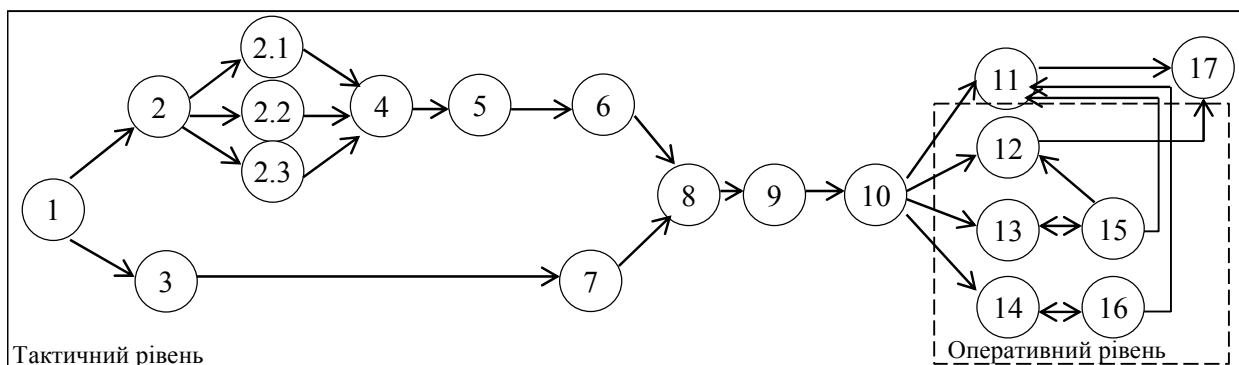


Рис. 4. Граф управління проектними ситуаціями в КПВ моделей промислової серії

Тактичний рівень характеризують проектні процедури етапів КПВ. Оперативний рівень забезпечення ефективності виробництва моделей промислової серії – показники ТКВ. На рис. 4:

1. Вивчення потреб в нових моделях виробу.
2. Перевірка типізованої конструкції і коригування лекал на гіпотетичний образ сучасної моделі.
3. Урахування складових частин конструкції відпрацьованої на технологічність і освоєних у виробництві.
4. Прийняття рішення щодо варіанту оновлення капсули промислової серії.
5. Розробка ТД на контрольний зразок.
6. Виготовлення контрольного зразка.
7. Прийняття рішення щодо виготовлення дослідної партії.
8. Виготовлення дослідної партії у потоці.
9. Прийняття рішення з дослідної партії.
10. Розробка ТД для запуску у виробництво. Оперативний рівень оптимізації моделі конструкторської підготовки виробництва здійснюється методами оцінки ефективності кінцевої ТД.
11. Контроль дотримання показників якості в кожному етапі КПВ.
12. Визначення послідовності забезпечення показників ТКВ.
13. Розрахунок показників спадкоємності конструкції виробу.
14. Розрахунок показників технологічної раціональності конструкції виробу.
15. Прийняття рішення щодо критичності показників спадкоємності конструкції.
16. Прийняття рішення щодо критичності показників технологічної раціональності конструкції.
17. Прийняття рішення про забезпечення технологічності контрольних зразків промислової серії для запуску у виробництво.

Висновки

Запропонована модель заснована на критичності показників технологічності конструкції виробів капсули промислової серії моделей.

Для моделювання етапів оновлення виробів використана модель життєвого циклу продукції з урахуванням цінних груп.

Алгоритм моделювання процесів конструкторської підготовки виробництва виробів промислової серії є рекурсивним за показниками технологічності моделей цінних груп.

Література

1. Славінська А.Л. Методологія моніторингу інформаційно-комунікативних технологій

конструкторської підготовки виробництва одягу / А. Л. Славінська // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. – № 5. – С. 47–53.

2. Славінська А.Л. Дизайн-програма ідентифікації конструктивно-технологічних модулів виробів у структурі технологічного процесу / А. Л. Славінська // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 5. – С. 134–140.

3. Славінська А.Л. Концепція регулювання гнучкості конструкторсько-технологічної підготовки оновлення асортименту в умовах підприємства / А.Л. Славінська, О.М. Штомпіль // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 4. – С. 173–178.

4. Славінська А.Л. Метод оптимізації конструктивно-технологічних ознак систематизованого асортиментного ряду серії моделей швейних виробів / А. Л. Славінська // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 2. – С. 45–49.

5. Славінська А.Л. Логістична координація інформаційних потоків серії моделей швейних виробів / А.Л. Славінська // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 6. – С. 100–107.

6. Славінська А.Л. Модель проектування технологічної конструкції швейного виробу / А.Л. Славінська // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – № 6. – С. 227–229.

7. Кокеткин П.П. Пооперационная машинно-автоматизированная технология: монография / П.П. Кокеткин. – Смоленск : Смоленский полиграфический комбинат, 2003. – 232 с.

8. Система технологічної документації. Терміни та визначення основних понять : ДСТУ 3221. 2003. – К. : Укрдержстандарт. – 31 с.

9. Славінська А.Л. Методи типового проектування одягу : навч. посібник / А. Л. Славінська. – Хмельницький : ХНУ, 2012. – 170 с.

10. Славинская А.Л. Разработка унифицированного типа преобразования базовой конструкции женской юбки в базовую конструкцию брюк / А.Л. Славинская, Ю.В. Вовк // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности / Ивановская государственная текстильная академия. – 2014. – № 6(354). – С. 84–89.

11. Славінська А.Л. Розробка способу автоматизованого проектування моделей-пропозицій жіночих костюмів з використанням програмного модуля «GEKKR» / А.Л. Славінська, І.О. Засорнова, О.С. Засорнов // Вісник Київського національного університету технологій і дизайну. – 2011. – № 6. – С. 52–57.

12. Славінська А.Л. Особливості формування елементів «Конструктора» для асортиментного комплексу одягу / А.Л. Славінська, Н.А. Ющак // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – № 3. – С. 180–183.

13. Славінська А.Л. Оптимізація системи комплексної оцінки рівня технологічності конструкції швейних виробів / А.Л. Славінська, С.С. Матвійчук, Л.В. Готра // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 3. – С. 78–82.

14. Трач О.Р. Критичність показників завдань напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти / О.Р. Трач // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. – № 5. – С. 177–181.

References

1. Slavinska A.L. Methodology of monitoring the informational and communicational technologies of design process in apparel industry / A.L. Slavinska // Herald of Khmelnytskyi national university, 2017, No. 5, pp. 47-53.
2. Slavinska A.L. The design program of identification of constructive-technological modules of products in structure of technological process / A.L. Slavinska // Herald of Khmelnytskyi national university, 2015, No. 5, pp. 134-140.
3. Slavinska A.L. Concept of flexibility regulation of design and technological preparation of assortment updating in the enterprise conditions / A.L. Slavinska, O.M. Shtompil // Herald of Khmelnytskyi national university, 2012, No. 4, pp. 173-178.
4. Slavinska A.L. Optimization of techniques structural and technological features systematized series models clothing items / A.L. Slavinska // Herald of Khmelnytskyi national university, 2015, No. 2, pp. 45-49.
5. Slavinska A.L. Logistical coordination of the information flows of the models garments series / A.L. Slavinska // Herald of Khmelnytskyi national university, 2015, No. 6, pp. 100-107.
6. Slavinska A.L. Model of design of technological structure of a garment / A.L. Slavinska // Herald of Khmelnytskyi national university, 2006, No. 6, pp. 227-229.
7. Koketkin P. P. Pooperaciynna mashuno-avtomatuzovana tehnologia odyagu : monografiya / P. P. Koketkin. – Smolensk : Smolenskiy poligrafichnuy kombinat. 2003. – 232 s.
8. Sistema tekhnolohichnoyi dokumentatsiyi. Terminy ta vyznachennya osnovnykh ponyat'. DSTU 3221: 2003, Kyiv, Ukrderzhstandart
9. Slavinska A. L. Metody tipovoho proektuvannya odyahu : navchalnyy posibnyk. Khmelnytskyi: KhNU, 2012. – 179 p.
10. Slavinska A. L. Working out unification of transformation type of the base design of the female skirt in the base design of trousers / A.L. Slavinska, U.V. Vovk // Proceedings of higher education institutions. Textile industry Technology. – Ivanovo State Textile Academy, 2014, No. 6(354), pp. 84-89.
11. Slavinska A. L. Development of the automated technique to design models of women's suits with the use of the software module "GEKKR" / A.L. Slavinska, I.O. Zasornova, O.S. Zasornov // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design, 2011, No. 6. pp. 52-57.
12. Slavinska A. L. Features of forming elements of "Designer" for clothing assortment / A.L. Slavinska, N.A. Uchak // Herald of Khmelnytskyi national university, 2006, No. 3, pp. 180-183.
13. Slavinska A. L. Optimization of the system of complex estimation of technological level of garments designs / A.L. Slavinska, S.S. Matviychuk, L.V. Gotra // Herald of Khmelnytskyi national university, 2009, No. 3, pp. 78-82.
14. Trach O. Criticality of indicators of tasks of directions of the virtual community life cycle organization // Herald of Khmelnytskyi national university, 2017, No. 5, pp. 177-181.

УДК 021:687.12

О.В. НАХАЙЧУК, Е.А. ЗАХАРОВА, А.А. МІЗРАХ, Л.В. КОНДРАТЬЄВА

Вінницький інститут конструювання одягу і підприємництва

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ГРАДАЦІЇ ЛЕКАЛ ДЕТАЛЕЙ НОВИХ МОДЕЛЕЙ ЖІНОЧИХ КОРСЕТНИХ ВИРОБІВ

В даній статті представлений розроблений спосіб градації лекал деталей корсетних виробів бюстгальтерної групи з диференціацією схем градації, який реалізований алгоритмом розрахунку з використанням САПР «КОМПАС-3D». Розроблена та систематизована інформаційна база даних приростів градації для побудови лекал деталей бюстгальтерів, застосування яких може забезпечити збереження високої якості та комфортності виробів різних розмірностей. Експериментальні дослідження виконані із застосуванням методу постійних приростів. Математично обґрунтовані значення приростів градації нових моделей бюстгальтерів, отримані дані дозволяють забезпечити збереження пропорційності виробу та його якості.

Ключові слова: корсетні вироби, бюстгальтер, градація, лекала, розмір, повнота, конструктивні точки.

O.V. NAKHAYCHUK, E.A. ZAKHAROVA, A.A. MIZRAH, L.V. KONDRATYIEVA

Vinnytsia Institute of Designing of Clothes and Entrepreneurship

IMPROVING THE PROCESS OF LEKAN DETAILS GRADATION OF NEW MODELS OF WOMEN CORSET PRODUCTS

An analysis of the current state of the process of graduation of the forms revealed that the traditional graduation technique does not provide a complete anthropometric correspondence of increments to the coefficients of graduation.

In this article the developed method of gradation of the corset details of the brassiere group with differentiation of the gradation schemes has been presented. It has been implemented by the CAD "KOMPAS-3D" algorithm of calculation.

The information base of increments of gradation for construction of details of bra pieces, the application of which can ensure the preservation of high quality and comfort of products of different sizes, is developed and systematized.

Experimental studies are performed by means through the method of constant increments. Mathematically grounded values of gradation increments of new models of bra and the obtained data allow to ensure the consistency of the product and its quality.

An information database of increments of graduation for the construction of parts forms is developed, the application of which ensures the preservation of the quality of products of different sizes.

Keywords: corsetry, bra, gradation, patterns, size, completeness, constructive points

Вступ

На сьогоднішній день процес градації лекал корсетних виробів є одним з найбільш формалізованих етапів конструкторської підготовки. Проте, механічне перенесення існуючих способів градації не забезпечує належну якість виконання проектних робіт не базових розмірностей швейних виробів. Отримані таким чином лекала потребують подальшого доопрацювання. Крім погіршення пропорційності виробів в результаті градації, зміна розміру фігури може спричинити погіршення ергономічних властивостей виробу. Нові методи градації спрощують розрахунки при градації лекал нетипових конструкцій.

На процес градації лекал корсетних виробів впливають наступні чинники [1, 5]:

- мінливість розмірних ознак;
- структура розрахункових формул, що прийнята в методиках конструювання одягу;
- спосіб розрахунку величин переміщень конструктивних точок відносно вихідних осей;
- характер розгортки об'ємної форми фігур різних розмірів;
- покрій та зовнішній вид виробу;
- властивості матеріалів.

Градація лекал корсетних виробів виконується за єдиними принципами і правилами при отриманні лекал на суміжні розміри і рости. Процес градації здійснюється з використанням міжрозмірних і міжростових приростів, що визначаються на основі зміни розмірних ознак фігури.

При побудові креслення градації деталей одягу на весь діапазон розмірів, що включає певна розмірна група, спочатку знаходять положення найбільш віддаленого розміру, визначаючи направлення діагоналі переміщення точок градації. При цьому точки градації лекал для усіх розмірів будуть розташовані на одній діагоналі. Величини приростів в точках градації, що вказані на схемах градації, дають збільшення розмірів лекал на один розмір. Для визначення положення точок градації крайніх розмірів необхідно помножити величину приросту на кількість міжрозмірних переходів і відкласти отримані величини відповідно до схеми по горизонталі та вертикалі. Через отримані точки проводять контури лекал усіх заданих розмірів. При оформленні криволінійних ділянок лекал використовують лекала-оригінали базової конструкції як шаблони [5].

Градація лекал корсетних виробів значно спрощує процес отримання лекал суміжних розмірів, але при цьому можливе порушення спряження контурних ліній деталей конструкції крайніх розмірів, що потребує перевірки креслення.

Існує декілька способів градації лекал, які мають певні правила виконання та послідовності градації лекал і використовуються в різних цілях [4, 5].

Променевий спосіб. Полягає в тому, що з певної точки (центру) через конструктивні точки деталі

проводять прямі лінії (промені). Від контуру деталі вздовж променів відкладають величини приростів, отримані точки з'єднують між собою (рис.1,а). Променевий спосіб використовують для градації лекал деталей виробів що мають округлу форму: деталі головних уборів, корсетних виробів тощо.

Спосіб групування. Полягає в тому, що виконується суміщення двох комплектів лекал крайніх розмірів за певними лініями, наприклад: лінія середини спинки, лінія середини переду, лінія глибини пройми, лінія талії. Одноименні конструктивні точки з'єднуються прямими лініями що поділяються на рівні частини на кількість проміжних розмірів плюс одиниця (рис.1,б). Спосіб використовують для визначення величин приростів в конструктивних точках.

Пропорційно-розрахунковий спосіб. Полягає в тому, що переміщення точок визначають пропорційно відстані від конструктивної точки до вихідної лінії градації. При цьому використовують раніше визначені вихідні прирости в найближчих конструктивних точках (рис.1,в). Різновидом є спосіб постійних приростів, який полягає в використанні типових схем градації лекал.

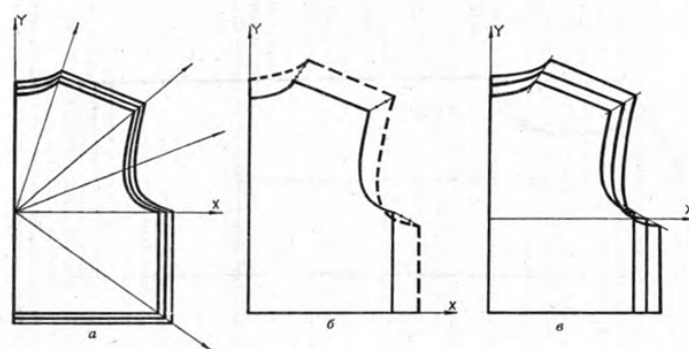


Рис. 1.Способи градації лекал: а) променевий, б) групування, в) пропорційно-розрахунковий

Отже, дослідження градації лекал жіночих корсетних виробів бюстгальтерної групи є актуальним завданням швейної галузі.

Мета роботи полягає в удосконаленні процесу градації лекал деталей нових моделей корсетних виробів бюстгальтерної групи шляхом застосування САПР, як засобу підвищення конкурентоспроможності швейних виробів. Для досягнення мети в роботі були вирішені **завдання**:

- аналіз вихідних даних для проектування корсетних виробів;
- дослідження структури розрахункових формул методики «Мюллер та син» з метою встановлення залежностей між параметрами конструкції і розмірами фігури, які забезпечили б відповідність приростів градації по ширині виробу коефіцієнтам градації;
- удосконалення способу градації лекал деталей корсетних виробів бюстгальтерної групи, який забезпечував би виконання всіх вимог, що пред'являють до процесу градації.

Експериментальна частина

До корсетних виробів відносяться предмети одягу, які служать для формування окремих ділянок жіночого тіла при деформації м'яких його тканин. Так, бюстгальтер визначає форму та положення грудних залоз, напівкорсет зменшує випуклість живота і формує ділянки стегон та сідниць, грація формує плавні силуетні лінії фігури в цілому.

За допомогою корсетних виробів можна підкреслити красу природних форм жіночого тіла, або надати фігурі бажаних пропорцій і форму окремим її ділянкам. Правильно підібрані сучасні корсетні вироби не заважають рухам, не порушують функції кровоносної та лімфатичної систем, органів дихання та травлення, тобто є гігієнічними.

Бюстгальтер сьогодні являє собою достатньо складну конструкцію. Сучасний асортимент бюстгальтерної групи дуже великий та включає в себе значну кількість різних за конструкцією виробів.

Для розробки способу градації лекал деталей нових моделей корсетних виробів вибрано дві сучасні моделі бюстгальтерів (рис. 2а, б).

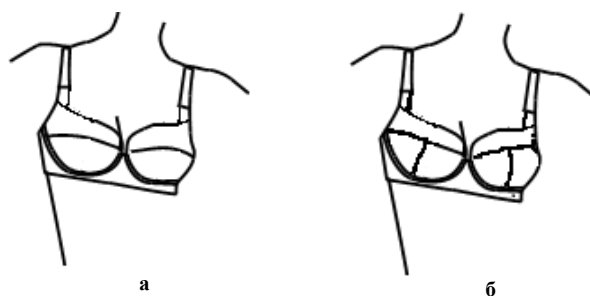


Рис. 2. Зовнішній вигляд сучасних моделей бюстгальтерів, які досліджуються

Градацію лекал корсетних виробів бюстгальтерної групи можна виконувати з використанням всіх відомих способів градації. Однак найчастіше використовують метод постійних приростів. Градація креслення деталей бюстгальтера виконується у відповідності до розмірних і повнотних груп нової класифікації типових фігур. Величини приростів для кожної конструктивної точки було отримано шляхом побудови креслень конструкцій на всі розміри і подальшим накладанням їх одна на одну, а також з урахуванням міжрозмірних і міжповнотних приростів нової класифікації типових фігур жінок для проектування корсетних виробів бюстгальтерної групи.

При розробці схем градації та накладанні креслення бюстгальтера було суміщено наступні лінії і точки:

- на верхній чашці – нитка утоку, яка проходила перпендикулярно верхньому краю деталі, і точка Г1;
- на нижніх деталях чашки – нитка утоку, яка сполучає верхню і нижню точки нижньої дуги чашки, і точки Г1;
- на боковій деталі (поясі) бюстгальтера – нитка основи і нитка утоку, які проходили через точку С;
- на передній деталі поясу бюстгальтера – нитка утоку, яка співпадала з середньою лінією деталі, і нижній край деталі.

Градацію треба виконувати окремо за розмірами і окремо за повнотними групами.

Спочатку треба виконувати градацію базової конструкції за повнотами, а потім вже виконувати градацію необхідних повнот за розмірами, які рекомендуються для моделі, що розробляється.

При переміщенні точки по вертикалі знак плюс чи відсутність знака показують, що при збільшенні розміру точка переміщується вгору, а при зменшенні розміру – донизу. Знак мінус показує, що при збільшенні розміру точка переміщується вліво, а при зменшенні – вправо [1, 2].

На рисунку 3 надано типову схему градації лекал бюстгальтеру, на якій показано переміщення конструктивних точок при збільшенні розмірів деталей.

При розробці конструкцій нових моделей одягу змінюються контури деталей, які не відповідають типовим схемам градації лекал. Тому виникає необхідність визначення величин переміщень в точках перетину нових ліній членування деталей.

На основі пропорційно-розрахункового способу авторами виконано розрахунок величин приростів двох видів бюстгальтерів. Визначення величин приростів конструктивних точок виконано у наступній послідовності:

- на кресленні деталі наносять вихідні осі градації, що відповідають типовій схемі градації;
- на деталь наносять внутрішні лінії членування;

- позначають конструктивні точки, що розташовані на перетині контуру деталі і лінії членування;
- виконують розрахунок величин приростів в конструктивних точках градації.

За результатами дослідження розроблено таблицю величин переміщення конструктивних точок при градації бюстгальтерів за розмірами і повнотами. Градація лекал бюстгальтерів за розмірами і повнотами, згідно рисунку 1а, б виконано за допомогою «КОМПАС-3D» (рис. 4 та рис. 5).

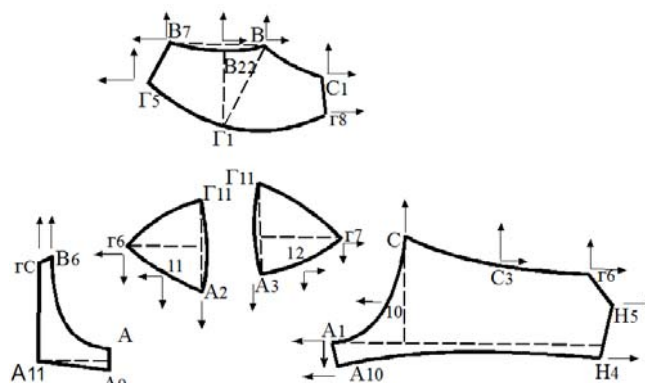


Рис. 3. Типова схема градації лекал бюстгальтера за розмірами і повнотами

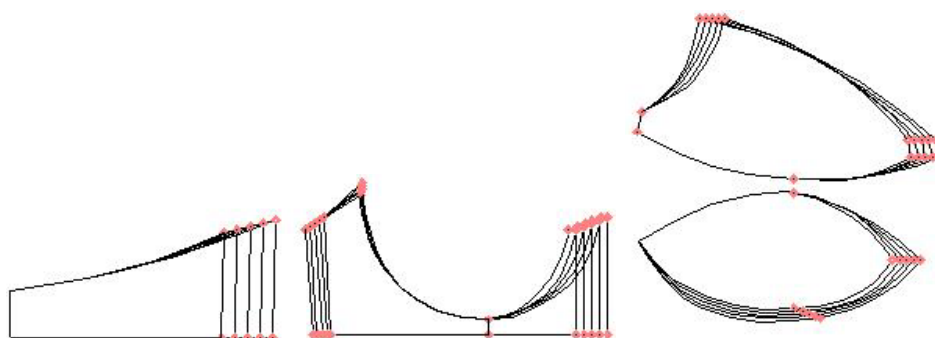


Рис. 4. Градація лекал бюстгальтера за розмірами і повнотами, згідно з рис. 1а

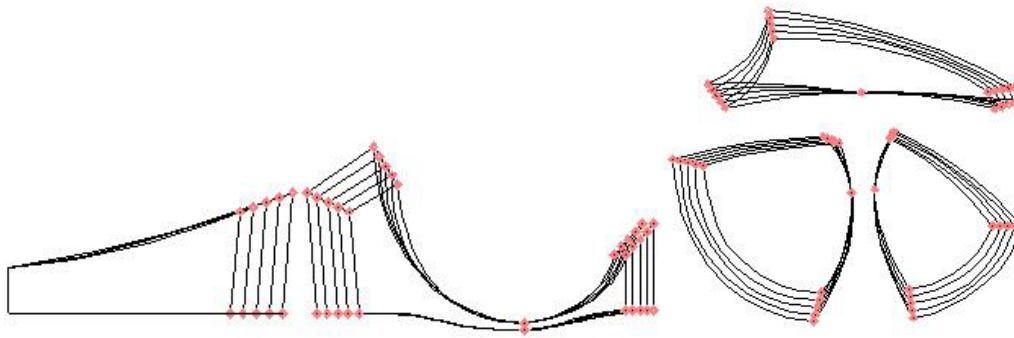


Рис. 5. Градація лекал бюстгальтера за розмірами і повнотами, згідно з рис. 16

Для впровадження результатів дослідження градації лекал бюстгальтера використано САПР «КОМПАС-3D» – система тривимірного проектування, що стала стандартом для тисяч підприємств, завдяки поєднанню простоти освоєння і легкості роботи з потужними функціональними можливостями поверхневого моделювання. «КОМПАС» (КОМПлекс Автоматизованих Систем конструкторсько-технологічного проектування) — система автоматизованого проектування та підготовки до виробництва російської фірми «Аскон» [3]. Система КОМПАС-3D – інтерактивний графічний редактор з сучасним інтерфейсом, оснащений інструментальними засобами, які дозволяють створювати об'єкти з використанням набору елементарних параметричних тіл. Програма «Компас-3D» включає в себе ряд функцій, які необхідні конструктору для введення тих чи інших ліній чи операцій. Застосування САПР «КОМПАС-3D» дає можливість автоматизувати процес градації корсетних виробів, що в результаті підвищить якість швейних виробів.

Висновки

1. Аналіз сучасного стану процесу градації лекал виявив, що традиційна техніка градації не забезпечує повну антропометричну відповідність приростів коефіцієнтам градації.
2. Математично обґрунтовані значення приростів градації нових моделей бюстгальтерів, що забезпечує збереження пропорційності виробу.
3. Розроблено спосіб градації лекал деталей корсетних виробів бюстгальтерної групи з диференціацією схем градації, який реалізований алгоритмом, та розроблено інформаційну базу даних приростів градації для побудови лекал деталей, застосування яких забезпечує збереження якості виробів різних розмірностей.

Література

1. Васильєва І.В. Конструктивне моделювання одягу. Корсетні вироби : навчальний посібник / І.В. Васильєва, Л.М. Гайдук. – К. : КНУТД, 2008. – 110 с.
2. Антипова А.И. Конструирование и технология корсетных изделий : учебник для кадров массовых профессий / Антипова А.И. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1984. – 160 с.
3. Колосніченко М.В. Комп'ютерне проектування одягу : навчальний посібник / М.В. Колосніченко, В.Ю. Щербань, К.Л. Проник. – К. : «Освіта України», 2010. – 236 с.
4. Коблякова Е.Б. Конструирование одежды с элементами САПР / Коблякова Е.Б., Ивлева Г.С., Романов В.Е. и др. – М. : Легпромбытиздат, 1988. – 464 с.
5. Славінська А.Л. Побудова лекал деталей одягу різного асортименту : навчальний посібник для ВНЗ / Славінська А.Л. – 2-е видання, виправлене і доп. – Хмельницький : ТУП, 2002. – 142 с.

References

1. Vasylieva I.V. Konstruktivne modeliuвання odiahu. Korsetni vyroby : navchalnyi posibnyk / I.V. Vasylieva, L.M. Haiduk. – K. : KNUTD, 2008. – 110 s.
2. Antipova A.I. Konstruirovaniye i tehnologiya korsetnykh izdeliy : uchebnyk dlya kadrov massovykh profesiy / Antipova A.I. – M. : Legkaya i pischevaya prom-st, 1984. – 160 s.
3. Kolosnichenko M.V. Kompiuterne proektuvannya odiahu : navchalnyi posibnyk / M.V. Kolosnichenko, V.Iu. Shcherban, K.L. Pronyk. – K. : «Osvita Ukrainy», 2010. – 236 s.
4. Koblyakova E.B. Konstruirovaniye odejdy s elementami SAPR / Koblyakova E.B., Ivleva G.S., Romanov V.E. i dr. – M. : Legprombytizdat, 1988. – 464 s.
5. Slavinska A.L. Pobudova lekal detalei odiahu riznogo asortymentu : navchalnyi posibnyk dlia VNZ / Slavinska A.L. – 2-e vydannia, vypravlene i dop. – Khmelnytskyi : TUP, 2002. – 142 s.

Рецензія/Peer review : 28.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 15.05.2018 р.
Рецензент: к.ф.-м.н., доц. Шньорко В.М.

ЗГЛАДЖУВАННЯ ЗОВНІШНІХ КОНТУРІВ ПЛОСКИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ДУГ КІЛ

В роботі наведені результати досліджень зі згладжування ділянок на зовнішньому контурі плоского геометричного об'єкту за допомогою дуг кіл. На основі отриманих в роботі залежностей був розроблений алгоритм та програмне забезпечення для згладжування ділянок на зовнішньому контурі плоского геометричного об'єкту за допомогою дуг кіл, які можуть бути корисні в САПР виробів легкої промисловості.

Ключові слова: плоский геометричний об'єкт, дуга кола, згладжування.

V.I. CHUPRYNKA, G.YU. ZELINSKY, N.V. CHUPRYNKA

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

SMOOTHING OF EXTERNAL CONTOURS OF FLATGEOMETRICS FOR HELP ARCS OF CIRCLES

External contours of the details of light industry products in most cases have a complex configuration and cannot be described analytically. Therefore, we will approximate them. To do this, in most cases, the piecewise-linear method of approximation is used, because it is universal, suitable for any form of flat geometric objects, does not require a high amount of time with a manual approximation method, is easily automated. So, in this method of approximation the appearance of the external contour of a flat geometric object does not satisfy the designer. Therefore, it is necessary to smooth some areas in this contour. Hence the relevance of the problem of smoothing some sections on the external contour of a plane geometric object follows. The paper presents the results of researches on smoothing of sections on the external contour of a flat geometric object with the help of circles arcs. The algorithm for smoothing the area of the external contour of a flat geometric object can be represented as follows:

1. Select a section on the external contour of a flat geometric object, which must be smoothed out;
2. Conjugate each corner of the allocated section of the external contour of the plane geometric object with an arc of radius $R/2$, where R - is the maximum permissible radius of the arc of the conjugation for this angle;

3. Replace the selected section of the external contour of a flat geometric object with a sequence of conjugate arcs for angles.

The most difficult of the stages of smoothing area of the external contour of a flat geometric object is the conjugation of the angle with the arc of a given radius can be represented as follows:

1. Find a bisector of a given angle;
2. On the bisector of the angle, find the center of the conjugate arc of the maximum permissible radius R and value of this radius;
3. On the bisector of the angle, find the center of the conjugate arc of radius $R/2$;
4. Find the start and end angles for the conjugate arc of radius $R/2$;
5. Find the minimum number of vertices on the conjugate arc and their coordinates for approximating this arc with given accuracy.

On the basis of the dependences obtained in this work, an algorithm and software for smoothing sections on the external contour of a flat geometric object with the help of circles arcs were developed. They could be useful in the CAD of light industry products and in the learning process when studying courses with CAD / CAM / CAE systems of light industry.

Keywords: flat geometric object, circle arc, smoothing.

Вступ

Зовнішні контури деталей виробів легкої промисловості в більшості випадків мають складну конфігурацію і не можуть бути описані аналітично. Тому ми будемо їх апроксимувати. Для цього виберемо кусково-лінійний спосіб апроксимації, так як він є універсальним, тобто придатним до будь-якої форми плоских геометричних об'єктів, не потребує великих затрат часу при ручному способі апроксимації, легко автоматизується [1–6].

Крім того інформація при кусково-лінійному способі апроксимації піддається ущільненню, тобто відсів зайвих точок без втрат точності апроксимації.

Кусково-лінійна апроксимація являє собою заміну дійсного контуру плоского геометричного об'єкту відрізками прямих, причому відстань від відрізків до точок контуру не перевищує похибки апроксимації. Найбільше розповсюдження отримав кусково-лінійний спосіб апроксимації. При цьому способі апроксимації зовнішній контур плоского геометричного об'єкту апроксимується багатокутником. Довжина сторін багатокутника залежить від кривизни контуру і вибраної погрішності апроксимації. Сторони апроксимуючого багатокутника можуть бути дотичними до контуру деталі, січними, хордами. Проведені дослідження показали доцільність використання за сторони апроксимуючого багатокутника дотичні до зовнішнього контуру плоского геометричного об'єкту [1, 2]. Тому в подальшому будемо використовувати кусково-лінійну апроксимацію, при якій сторонами апроксимуючого багатокутника є дотичні (рис. 1).

Постановка завдання

Для кута заданого координатами вершин встановити залежності параметрів спряженої дуги від координат вершин цього кута. На основі встановлених залежностей розробити математичне та програмне забезпечення для згладжування ділянок на зовнішньому контурі плоского геометричного об'єкту за допомогою дуг кіл.

Основна частина

Нехай S – плоский геометричний об'єкт. Зв'яжемо з ним координатну систему XOY , де O – полюс деталі, обраний в будь-якій її внутрішній точці. Контур цього плоского геометричного об'єкту апроксимуємо ламаною дотичною лінією до зовнішнього контуру плоского геометричного об'єкту (рис. 1).

Будь-який плоского геометричного об'єкту S може бути представлений координатами вершин апроксимуючої ламаної лінії, тобто масивом $\{Xa_j, Ya_j\}$, $j=1..n$, а координати будь-якої точки на прямій між вершинами A_j та A_{j+1} можна визначити наступним чином

$$X = Xa_j + (Xa_{j+1} - Xa_j)t$$

$$Y = Ya_j + (Ya_{j+1} - Ya_j)t$$

$$0 \leq t \leq 1; j = 1, 2..n$$

де j – порядковий номер відрізка між вершинами A_j та A_{j+1} ;
 n – кількість точок апроксимації для плоского геометричного об'єкту S .

Так як апроксимуюча ламана не завжди задовольняє вимогам до відображення зовнішнього контуру плоского геометричного об'єкту (особливо при ручному способі апроксимації), то деякі ділянки контуру необхідно згладити. Для цього використаємо дуги кіл.

Алгоритм згладжування ділянки зовнішнього контуру плоского геометричного об'єкту можна представити наступним чином:

- 1) Виділимо ділянку $A_i A_{i+1}..A_m..A_k$ зовнішнього контуру плоского геометричного об'єкту, яку необхідно згладити.
- 2) 2) Спряжемо кожен кут $\angle A_{j-1} A_j A_{j+1}$ ($j=i+1, i+2..k-1$) виділеної ділянки зовнішнього контуру плоского геометричного об'єкту дугою радіусу $R'_j = R_j/2$, де R_j – максимально допустимий радіус дуги спряження для цього кута.
- 3) Замінити виділену ділянку зовнішнього контуру плоского геометричного об'єкту послідовністю спряжених дуг для кутів $\angle A_{j-1} A_j A_{j+1}$ ($j=i+1, i+2..k-1$).

Більш детально розглянемо перший та другий пункти алгоритму.

Для виділення ділянки зовнішнього контуру плоского геометричного об'єкту, яку необхідно згладити необхідно ідентифікувати початкову та кінцеву вершини ділянки цього контуру. Нехай це буде контур $A_i A_{i+1}..A_k$ (рис. 1). Для ідентифікації початкової та кінцевої вершин необхідно підвести курсор до цих вершин і натиснути на кнопку миші. Вершина A_j ($j=1, 2, i, i+1..k..n$), що лежить найближче до курсору з координатами $C(X_c, Y_c)$ і буде шуканою початковою (кінцевою) вершиною вибраної ділянки зовнішнього контуру плоского геометричного об'єкту (рис.1). Тоді задача пошуку початкової та кінцевої вершин зводиться ділянки зовнішнього контуру плоского геометричного об'єкту зводиться до наступної: серед множини вершин A_j ($j=1, 2, i, i+1..k..n$) знайти ту вершину A_q , для якої справедливий наступний вираз:

$$\sqrt{(Xa_q - X_c)^2 + (Ya_q - Y_c)^2} = \min_{j=1, 2..n} \left\{ \sqrt{(Xa_j - X_c)^2 + (Ya_j - Y_c)^2} \right\}$$

Для того щоб спрягти кут $\angle A_{i-1} A_i A_{i+1}$ дугою заданого радіусу R'_i ($R'_i \leq R_i$) необхідно виконати наступні етапи алгоритму (рис. 2):

1. Знайдемо довжину відрізків $A_i A_{i-1}$ та $A_i A_{i+1}$.

$$|A_i A_{i-1}| = \sqrt{(Xa_i - Xa_{i-1})^2 + (Ya_i - Ya_{i-1})^2}$$

$$|A_i A_{i+1}| = \sqrt{(Xa_i - Xa_{i+1})^2 + (Ya_i - Ya_{i+1})^2}.$$

2. Визначимо $D = \min\{|A_i A_{i-1}|, |A_i A_{i+1}|\}$.

3. Серед відрізків $A_i A_{i-1}$ та $A_i A_{i+1}$ на відрізку, довжина якого не дорівнює величині D від точки A_i відкладемо відрізок $A_i B$ довжиною D .

4. Знайдемо координати точки B враховуючи те, що вектори $A_i A_{i-1}$ ($A_i A_{i+1}$) та $A_i B$ паралельні та виходять із однієї точки A_i . Матимемо [7]:

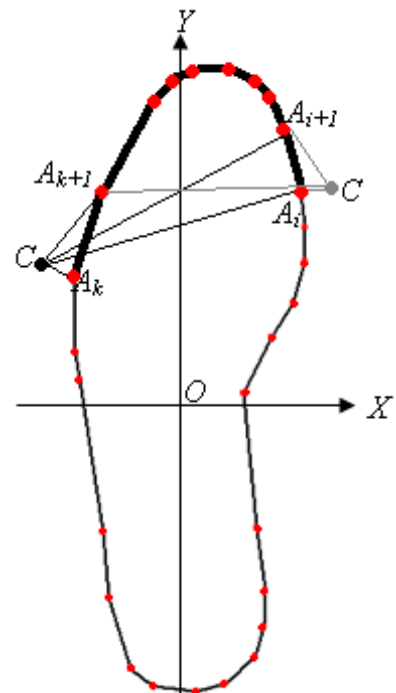
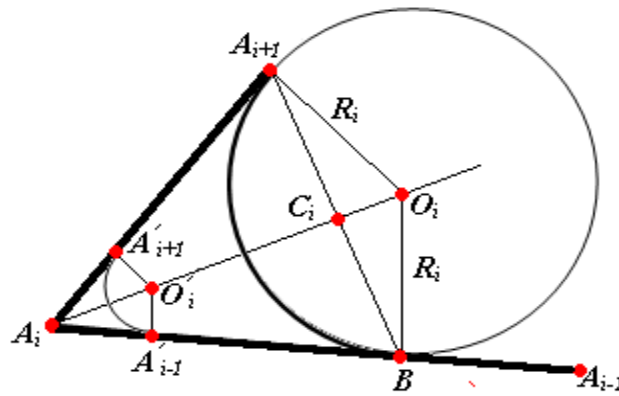


Рис. 1. Виділення ділянки на зовнішньому контурі плоского геометричного об'єкту, яку необхідно згладити

Рис. 2. Спряження кута дугою з радіусом R_i

а) якщо $|A_i A_{i-1}| \geq |A_i A_{i+1}|$

$$\begin{aligned} Xb &= Xa_i + \frac{D}{|A_i A_{i-1}|} \cdot (Xa_{i-1} - Xa_i) = Xa_i + \frac{D}{\sqrt{(Xa_i - Xa_{i-1})^2 + (Ya_i - Ya_{i-1})^2}} \cdot (Xa_{i-1} - Xa_i) \\ Yb &= Ya_i + \frac{D}{|A_i A_{i-1}|} \cdot (Ya_{i-1} - Ya_i) = Ya_i + \frac{D}{\sqrt{(Xa_i - Xa_{i-1})^2 + (Ya_i - Ya_{i-1})^2}} \cdot (Ya_{i-1} - Ya_i) \end{aligned}$$

б) інакше

$$\begin{aligned} Xb &= Xa_i + \frac{D}{|A_i A_{i+1}|} \cdot (Xa_{i+1} - Xa_i) = Xa_i + \frac{D}{\sqrt{(Xa_i - Xa_{i+1})^2 + (Ya_i - Ya_{i+1})^2}} \cdot (Xa_{i+1} - Xa_i) \\ Yb &= Ya_i + \frac{D}{|A_i A_{i+1}|} \cdot (Ya_{i+1} - Ya_i) = Ya_i + \frac{D}{\sqrt{(Xa_i - Xa_{i+1})^2 + (Ya_i - Ya_{i+1})^2}} \cdot (Ya_{i+1} - Ya_i) \end{aligned}$$

5. Знайдемо координати точки $C_i(X_{C_i}, Y_{C_i})$, що є серединою відрізка $A_{i+1}B$ ($A_{i-1}B$).

а) якщо $|A_i A_{i-1}| \geq |A_i A_{i+1}|$

$$\begin{aligned} X_{C_i} &= \frac{X_{i+1} + Xb}{2} \\ Y_{C_i} &= \frac{Y_{i+1} + Yb}{2} \end{aligned}$$

б) інакше

$$\begin{aligned} X_{C_i} &= \frac{X_{i-1} + Xb}{2} \\ Y_{C_i} &= \frac{Y_{i-1} + Yb}{2} \end{aligned}$$

6) Знайдемо довжину відрізків $A_i C_i$ та BC_i :

$$\begin{aligned} |A_i C_i| &= \sqrt{(Xa_i - X_{C_i})^2 + (Ya_i - Y_{C_i})^2} \\ |BC_i| &= \sqrt{(Xb - X_{C_i})^2 + (Yb - Y_{C_i})^2} \end{aligned}$$

7) Знайдемо максимально допустимий радіус R_i дуги спряження для кута $\angle A_{i-1} A_i A_{i+1}$. З подоби трикутників $\Delta A_i B C_i$ та $\Delta A_i O_i B$ матимемо:

$$R_i = \frac{D \cdot |C_i B|}{|A_i C_i|}.$$

8) Знайдемо довжину відрізка $A_i O_i$. $A_i O_i$ є гіпотенузою прямокутного трикутника $\Delta A_i B C_i$. Тоді:

$$|A_i O_i| = \sqrt{D^2 + R_i^2}.$$

9) Знайдемо координати точки $O_i(X_{O_i}, Y_{O_i})$, що є центром дуги спряження з максимально допустимим радіусом R_i . Враховуючи те, що вектори $A_i C_i$ та $A_i O_i$ паралельні та виходять із однієї точки A_i матимемо [7]:

$$Xo_i = Xa_i + \frac{|A_i O_i|}{|A_i A_{i-1}|} \cdot (Xc_i - Xa_i)$$

$$Yo_i = Ya_i + \frac{|A_i O_i|}{|A_i C_i|} \cdot (Yc_i - Ya_i)$$

10) Задаємо значення радіусу $R'_i (R'_i \leq R_i)$ шуканої спряженої дуги для кута $\angle A_{i-1} A_i A_{i+1}$.

11) Знайдемо довжини відрізків $A'_{i-1} O'_i$ ($A'_{i+1} O'_i$) та $A_i O'_i$. З подоби трикутників $\Delta A_i A'_{i-1} O'_i$ та $\Delta A_i B O_i$ матимемо:

$$|A_i O'_i| = \frac{R'_i}{R_i} \cdot |A_i O_i|$$

$$|A_i A'_{i-1}| = |A_i A'_{i+1}| = \frac{R'_i}{R_i} \cdot |A_i B| = \frac{R'_i}{R_i} \cdot D$$

12) Знайдемо координати точки $O'_i(Xo'_i, Yo'_i)$, що є центром дуги спряження з радіусом R'_i . Враховуючи те, що вектори $A_i O'_i$ та $A_i O_i$ паралельні та виходять із однієї точки A_i матимемо:

$$Xo'_i = Xa_i + \frac{|A_i O'_i|}{|A_i O_i|} \cdot (Xo_i - Xa_i)$$

$$Yo'_i = Ya_i + \frac{|A_i O'_i|}{|A_i O_i|} \cdot (Yo_i - Ya_i)$$

13) Знайдемо координати точок $A'_{i-1}(Xa'_{i-1}, Ya'_{i-1})$ та $A'_{i+1}(Xa'_{i+1}, Ya'_{i+1})$, що є точками дотику з шуканої дуги спряження з кутом $\angle A_{i-1} A_i A_{i+1}$. Враховуючи те, що вектори $A_i A'_{i-1}$ та $A_i A_{i-1}$ ($A_i A'_{i+1}$ та $A_i A_{i+1}$) паралельні та виходять із однієї точки A_i , матимемо:

а) якщо $|A_i A_{i-1}| \geq |A_i A_{i+1}|$

$$Xa'_{i-1} = Xa_i + \frac{|A_i A'_{i-1}|}{D} \cdot (Xb - Xa_i)$$

$$Ya'_{i-1} = Ya_i + \frac{|A_i A'_{i-1}|}{D} \cdot (Yb - Ya_i)$$

$$Xa'_{i+1} = Xa_i + \frac{|A_i A'_{i+1}|}{D} \cdot (Xa_{i+1} - Xa_i)$$

$$Ya'_{i+1} = Ya_i + \frac{|A_i A'_{i+1}|}{D} \cdot (Ya_{i+1} - Ya_i)$$

б) інакше

$$Xa'_{i+1} = Xa_i + \frac{|A_i A'_{i+1}|}{D} \cdot (Xb - Xa_i)$$

$$Ya'_{i+1} = Ya_i + \frac{|A_i A'_{i+1}|}{D} \cdot (Yb - Ya_i)$$

$$Xa'_{i-1} = Xa_i + \frac{|A_i A'_{i-1}|}{D} \cdot (Xa_{i-1} - Xa_i)$$

$$Ya'_{i-1} = Ya_i + \frac{|A_i A'_{i-1}|}{D} \cdot (Ya_{i-1} - Ya_i)$$

14) Визначаємо початковий φ_1 та кінцевий φ_2 кути для шуканої спряженої дуги (рис. 3.а). Для цього знайдемо $\sin \varphi_1$, $\sin \varphi_2$ та $\cos \varphi_1$, $\cos \varphi_2$ [8]:

$$\sin \varphi_1 = \frac{Ya'_{i-1} - Ya_i}{R'_i}; \quad \cos \varphi_1 = \frac{Xa'_{i-1} - Xa_i}{R'_i};$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{Ya'_{i+1} - Ya_i}{R'_i}; \quad \cos \varphi_2 = \frac{Xa'_{i+1} - Xa_i}{R'_i}.$$

Знаючи $\sin \varphi_1$, $\sin \varphi_2$ та $\cos \varphi_1$, $\cos \varphi_2$ легко обчислити початковий φ_1 та кінцевий φ_2 кути для

шуканої спряженої дуги.

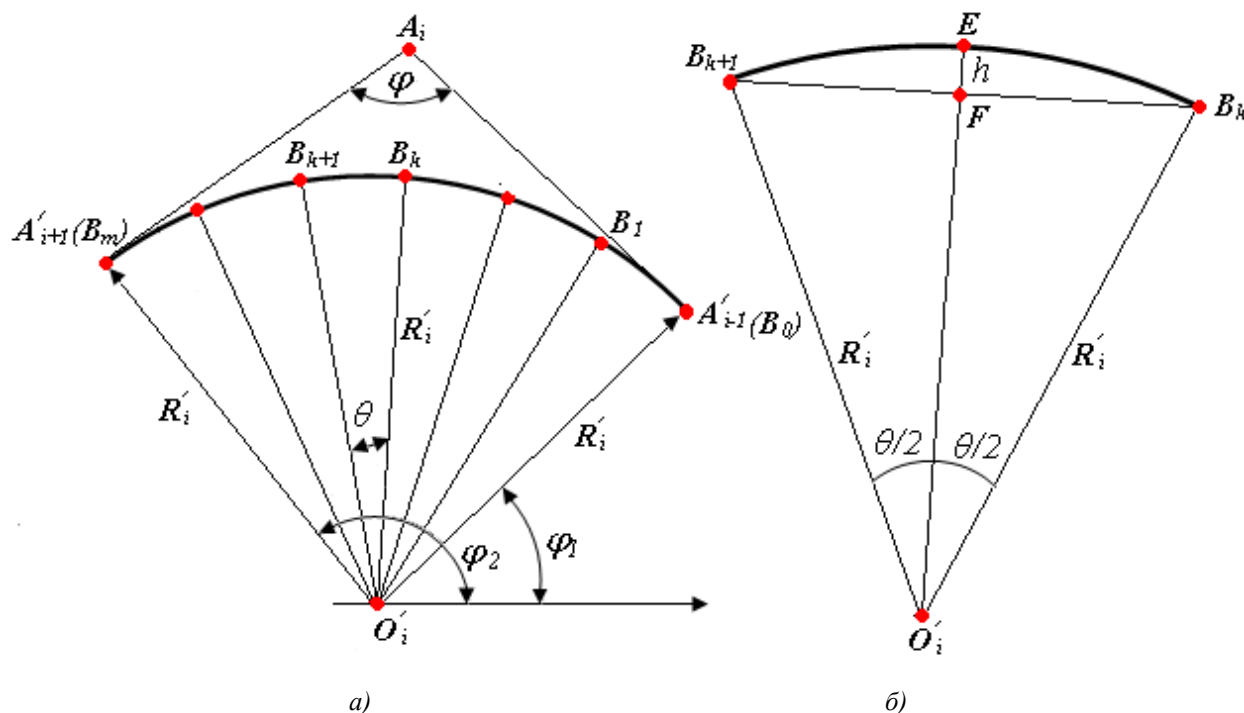


Рис. 3. Апроксимація дуги багатокутником із заданою точністю ε

15) Так як шукану спряжену дугу ми будемо апроксимувати у вигляді ломаної лінії $B_0 B_1 \dots B_k B_{k+1} \dots B_m$, то необхідно визначити координати вершин цієї лінії. Вони визначаються наступним чином:

$$\begin{aligned} Xb_j &= Xa_j + R'_i \cdot \cos(\varphi_1 + \theta \cdot j) \\ Yb_j &= Ya_j + R'_i \cdot \sin(\varphi_1 + \theta \cdot j) \end{aligned}, \text{ де } j=0, 1 \dots m \text{ та } \theta = |\varphi_2 - \varphi_1|/m.$$

16) Для апроксимації дуги кола ломаною лінією необхідно визначити оптимальну вершин цієї ломаної, тобто щоб дуга апроксимувалась із заданою точністю ε . Тому кількість сторін m ломаної лінії $B_0 B_1 \dots B_k B_{k+1} \dots B_m$ визначимо із умови, що ця ломана лінія буде апроксимувати шукану спряжену дугу із заданою точністю ε . Для цього необхідно, щоб виконувалась наступна умова: $h \leq \varepsilon$ (рис. 3.б). Очевидно, що $h = R'_i - R'_i \cdot \cos \theta/2 \leq \varepsilon$. Тоді

$$\cos(\theta/2) \leq \frac{R'_i - \varepsilon}{R'_i} \text{ або } \cos(|\varphi_2 - \varphi_1|/2m) \leq \frac{R'_i - \varepsilon}{R'_i}.$$

Звідси отримаємо:

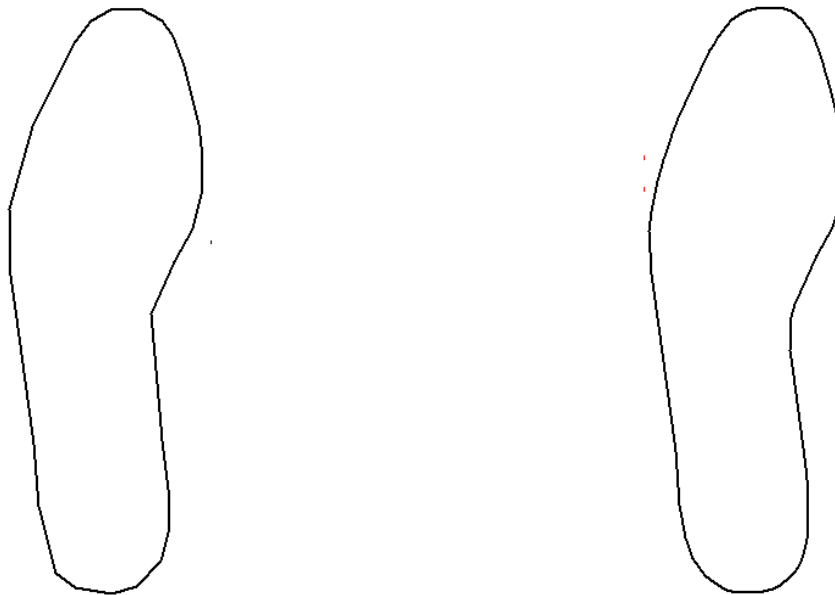
$$m \geq \frac{|\varphi_2 - \varphi_1|}{2 \arccos\left(\frac{R'_i - \varepsilon}{R'_i}\right)}.$$

Запропонований вище алгоритм згладжування ділянок на зовнішньому контурі був реалізований в програмний модуль для згладжування ділянок на зовнішньому контурі плоского геометричного об'єкту за допомогою дуг кіл. Цей програмний модуль був впроваджений в навчальний процес при вивченні дисципліни «CAD/CAM/CAE системи легкої промисловості».

Приклад згладжування зовнішнього контуру плоского геометричного об'єкту за допомогою цього модуля представлений на рис. 4.

Висновки

На основі отриманих в роботі залежностей були розроблені алгоритм та програмний модуль для згладжування зовнішніх контурів плоских геометричних об'єктів за допомогою дуг кіл. Ці алгоритм та програмний модуль можуть бути корисними при розробці різних CAD/CAM/CAE легкої промисловості та в навчальному процесі при вивченні дисциплін пов'язаних з проектуванням виробів легкої промисловості.



а) Вихідна кусково-лінійна апроксимація зовнішнього контуру плоского геометричного об'єкту

б) Кусково-лінійна апроксимація зовнішнього контуру плоского геометричного об'єкту після згладжування за допомогою дуг кіл

Рис. 4. Апроксимація зовнішнього контуру плоского геометричного об'єкту

Література

1. Глинер М.И. Алгоритмы линейно-круговой аппроксимации / М.И. Глинер, С.М. Гончаров, Е.А. Смирнов // Известия ВУЗов. Технология легкой промышленности. – 1974. – № 2. – С. 79–82.
2. Глинер М.И. Об одном алгоритме аппроксимации контуров швейных лекал / М.И. Глинер, Е.А. Смирнов // Известия ВУЗов. Технология легкой промышленности. – 1976. – № 4. – С. 98–99.
3. Омельченко П.В. Разработка метода автоматизированного проектирования чехлов для мобильных телефонов / П.В. Омельченко, В.П. Коновал, В.И. Чупринка // Актуальные проблемы науки, техники и экономики производства изделий из кожи. – Витебск : ВГТУ, 2004. – С. 131–132.
4. Каган В.М. К вопросу аппроксимации контура подошвы // Известия ВУЗов. Технология легкой промышленности. – 1974. – № 2. – С. 34–38.
5. Храмова Е.П. Об алгоритме аппроксимации контуров деталей швейных изделий // Известия ВУЗов. Технология легкой промышленности. – 1978. – № 1. – С. 95–99.
6. Акулов В.Г. Цифровое описание обувных шаблонов в полярных координатах / В.Г. Акулов, Л.Н. Плужников // Известия ВУЗов. Технология легкой промышленности. – 1982. – № 2. – С. 90–93.
7. Фильчаков П.Ф. Справочник по высшей математике / Фильчаков П.Ф. – К. : Наукова думка, 1973. – 744 с.
8. Выгодский В.М. Справочник по высшей математике / Выгодский В.М. – М. : Наука, 1980. – 277 с.

References

1. Gliner M.I. Algoritmy lineynno-krugovoy approksimatsii / M.I. Gliner, S.M. Goncharov, E.A. Smirnov // Izvestiya VUZov. Tehnologiya legkoy promyshlennosti. – 1974. – № 2. – S. 79–82.
2. Gliner M.I. Ob odnom algoritme approksimatsii konturov shveynyih lekal / M.I. Gliner, E.A. Smirnov // Izvestiya VUZov. Tehnologiya legkoy promyshlennosti. – 1976. – № 4. – S. 98–99.
3. Omelchenko P.V. Razrabotka metoda avtomatizirovannogo proektirovaniya chehlov dlya mobilnyih telefonov / P.V. Omelchenko, V.P. Konoval, V.I. Chuprinka // Aktualnye problemy nauki, tehniki i ekonomiki proizvodstva izdeliy iz koji. – Vitebsk : VGTU, 2004. – S. 131–132.
4. Kagan V.M. K voprosu approksimatsii kontura podoshvy // Izvestiya VUZov. Tehnologiya legkoy promyshlennosti. – 1974. – № 2. – S. 34–38.
5. Hramtsova E.P. Ob algoritme approksimatsii konturov detaley shveynyih izdeliy // Izvestiya VUZov. Tehnologiya legkoy promyshlennosti. – 1978. – № 1. – S. 95–99.
6. Akulov V.G. TSifrovoe opisanie obuvnyih shablonov v polyarnyih koordinatah / V.G. Akulov, L.N. Plujnikov // Izvestiya VUZov. Tehnologiya legkoy promyshlennosti. – 1982. – № 2. – S. 90–93.
7. Filchakov P.F. Spravochnik po vyishey matematike / Filchakov P.F. – K. : Naukova dumka, 1973. – 744 s.
8. Vyigotskiy V.M. Spravochnik po vyishey matematike / Vyigotskiy V.M. – M. : Nauka, 1980. – 277 s.

Рецензія/Peer review : 18.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.05.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.П. Коновал

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА РОЗШИРЕННЯ АСОРТИМЕНТУ ВЗУТТЯ ШЛЯХОМ МОДУЛЬНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ КАБЛУКА

Мета статті – удосконалення конструкції каблуків шляхом його модульної трансформації. Для досягнення поставленої мети застосовано методи аналізу та синтезу науково-технічної та патентної літератури у сфері конструювання зовнішньої деталі низу взуття, призначеної для підняття п'яткової частини стопи на певну висоту каблуків. Проаналізовано відомі проектні рішення зміни конструкції каблуків, що забезпечують розширення асортименту жіночого взуття без зміни його верху та підшви. Виявлено недоліки існуючих конструкцій каблуків, що передбачають його модульну трансформацію під час експлуатації виробу. Запропоновано нове конструктивне рішення щодо зміни форми каблуків. Розроблена конструкція дозволяє збільшити термін експлуатації та в цілому сприяє розширенню асортименту жіночого взуття.

Ключові слова: взуття, каблук, конструкція каблуків, модульна трансформація каблуків.

D.A. MAKATIORA, A.IU. VLASENKO, L.IE. HALAVSKA

Kyiv National University of Technology and Design

Enhancing performance PROPERTIES AND FOOTWEAR ASSORTMENT EXPANSION BY MODULAR HEEL TRANSFORMATIONS

The heel is one of the most critical parts of a shoe protecting the heel counter from fast destruction. The footwear structural design efficiency during its performance depends on the quality of design solutions subject to its aesthetic and ergonomic properties. The research objective is to improve the heel design by its modular transformation. To achieve this goal, methods of analysis and synthesis of academic technical and patent literature in the field of constructing an outer part of the shoe bottom designed for lifting the counter to a certain heel height have been employed. The paper explores the current design solutions as to heel transformations that expand the range of women's footwear without changing its upper and the sole. Shortcomings of convertible heel designs assuming their in-service modular transformation have been identified. A new design solution as to changing the heel shape is proposed. The heel consists of two parts: the upper, rigidly attached to the counter, and the lower (the bottom) one composed of two elements forming an integral whole. Secure fit of the top piece of the heel to the upper, as well as the option for a quick top-piece elements conversion (the top piece of the heel rotates around its pivot) enable for inserting a support rod into a cylindrical groove and an elastic element into a cylindrical groove over a lock washer. Various heel top-piece options allow to transform the heel shape (the top-piece elements of the heel have different contact area with ground surface). The developed design offers a possibility to increase the footwear service life and expand the range of women's shoes without buying an extra pair, thus preventing extra expenses, respectively. Due to the proposed construction of the heel, women will spend less time wearing high heels with small contact area, thus avoiding a number of diseases and yet at the right moment will have the opportunity to emphasize their feminine beauty by elegant high heels shoe shape.

Keywords: footwear, heel, heel structure, modular transformation of the heel.

Вступ

Як відомо, однією з найбільш відповідальних деталей взуття, що забезпечує захист його п'яткової частини від швидкого руйнування, є каблук. Незважаючи на це, питання визначення оптимальної висоти й форми каблуків та його впливу на організм жінки й досі залишається предметом дискусій та суперечок фахівців-медиків. Деякі з них навіть намагаються довести, що високий та тонкий каблук не має шкідливого впливу на організм жінки. Однак неприродне напружене становище тіла жінки у положенні, коли вона стоїть у взутті на високих підборах, та неможливість здійснювати тривалі прогулянки у такому взутті вказують на його нераціональність [1]. Створення жіночого взуття з можливістю модульної трансформації форми каблуків у процесі його експлуатації є актуальною задачею, що забезпечує з одного боку покращення експлуатаційних властивостей жіночого взуття, з іншого – сприяє розширенню асортименту. Вирішення такої задачі передбачає попереднє вивчення класифікаційних ознак каблуків за конструкцією, формою та способами кріплення.

Каблуки поділяють за висотою, видом матеріалу, конструкцією, формою, розміром та деякими іншими ознаками. За висотою розрізняють каблуки низькі – від 8 до 25 мм, середні – від 30 до 45 мм, високі – від 50 до 60 мм, особливо високі – понад 60 мм. Каблуки можуть бути виготовлені зі шкіри, каучуку, непористої і пористої гуми, дерева (бука, берези, липи), пластмас та інших матеріалів. За конструктивними особливостями розрізняють наступні види каблуків: збірні із шкіряних фліків; формовані з непористої гуми; штамповані і формовані з пористої гуми; з пористої гуми з похилою фронтальною поверхнею; дерев'яні цілісні або з отвором для металевої втулки, з пазом на фронтальній поверхні для укладання країв обтягування; пластмасові цілісні або з отвором для металевої втулки, з впресованою втулкою, з впресованою вкладкою з дерева або поліетилену, з одним або декількома отворами для прикріплення набойок і ін. Для зменшення маси і витрат матеріалу у багатьох конструкціях гумових формованих і пластмасових каблуків передбачаються порожнини різних конфігурацій. Розміри та форма каблуків залежать від фасону взуття. Профіль бічної поверхні каблуків може бути прямо- або криволінійним. У виробництві взуття застосовуються також низькі підбори круглої та овальної форм. Каблуки кожного фасону поділяють за номером. Кожним двом суміжним розмірам взуття відповідає один розмір каблуків. Номер фасону і номер каблуків таврують на його верхній поверхні. Висота підборів одного фасону однакова незалежно від їх

номера. Вибір способу прикріплення каблуків визначається конструкцією взуття, висотою і матеріалом каблуків, методом кріплення підшов. За способом кріплення каблуків поділяють на штифтові, клейові та комбіновані. У разі штифтового способу для закріплення застосовують цвяхи, шурупи, втулки; у разі клейового – наіритові та поліуретановий клей; при комбінованих – штифти та клеї перхлорвініловий, нітроцелюлозний або поліамідний [2].

Модульну трансформацію каблуків доречно виконувати у разі його виготовлення з пластмаси цільними або з отвором для металеві втулки та комбінованого способу кріплення.

Постановка завдання

Переважає більшість представниць жіночої статі не є консерваторами у виборі взуття, зокрема у виборі дизайну та висоти каблуків. У тій чи іншій життєвій ситуації та в залежності від обраного стилю одягу вони віддають перевагу підборам різної висоти та форми. Наприклад, під час поїздки на роботу жінки виходячи з практичної точки зору можуть віддати перевагу взуттю на низьких підборах або підборах з більшою площею контакту з поверхнею підлоги, на плоскій підшві або взагалі кросівкам. Таке взуття під час прогулянки або поїздки на далеку відстань більш комфортне. Прибувши на місце роботи, жінка може віддати перевагу взуттю на високих підборах або взуттю з меншою площею контакту каблуків з поверхнею підлоги. Така ситуація створює певні незручності, оскільки жінка повинна мати з собою додаткову пару взуття і після приїзду на роботу перевзуватися. Як альтернативний варіант, вона може залишити на робочому місці кілька пар взуття. Однак це створює додаткову складність, якщо виявляється, що, наприклад, у вихідні дні жінці потрібна та пара взуття, яка залишилася на робочому місці. В іншій ситуації може виявитися, що жінці у поїздки потрібне взуття з підборами різної форми: з меншою площею контакту для ділових зустрічей, з більшою – для прогулянок та екскурсій. Це створює проблему при упаковці валізи, в обмежений простір якої потрібно укласти кілька пар взуття. Це взуття досить об'ємне, створює незручності при упаковці і займає багато місця всередині валізи. Крім того, тривале носіння взуття на підборах з малою площею контакту з поверхнею підлоги може привести до розвитку хвороб стопи.

Слід також зазначити, що мода диктує свої стандарти краси. Адже кожного сезону змінюється не лише висота каблуків, а й його форма та товщина. Саме ці фактори забезпечують відчуття гармонії в одязі. Вони залежать від крою та довжини спідниці. З щільною твідовою спідницею не поєднуються гостроносі туфлі на шпильці, а до сукні з тонкої тканини навряд чи підійдуть широкі підбори. Чим щільніше і важче тканина одягу, тим більш товстим повинен бути каблук. І навпаки, чим легше плаття, тим тонше каблук [3].

З точки зору комфорту дуже важлива саме товщина каблуків: чим він ширший, тим краще розподіляється вага тіла. Тому найзручнішими є широкі підбори, а найменш стійкими – «гвоздики». Каблуки, широкі зверху і звужені донизу, набагато зручніші, ніж тонкі по всій висоті, так як розподіл ваги припадає виключно на широкий верх. Туфлі з тонким каблуком доречно носити з модним одягом. Одяг класичного крою не зовсім добре поєднуються з такими моделями взуття. Широкий каблук є порятунком для панянок, які не можуть похизуватися особливою витонченістю своїх ніг. За рахунок контрасту з таким каблуком ноги виглядають стрункішими.

Проблема вибору форми каблуків може бути вирішена шляхом удосконалення його конструкції, завдяки якій жінки зможуть менше часу проводити у взутті на підборах з малою площею контакту та уникнути низки хвороб і разом з тим мати можливість у потрібну мить підкреслити свою жіночу красу підборами витонченої форми.

Результати та їх обговорення

Жінки постійно стикаються з проблемою вибору: купити взуття на високих підборах чи на низьких, обрати модель на шпильці чи на широкому стійкому каблуці. Адже кожна з них хоче, щоб взуття було не лише гарним, а й зручним та комфортним при експлуатації. У роботі [4] авторами представлено результати соціопитування, що дозволяють визначити напрямки розробки конструктивних елементів взуття, які відповідають комплексу вимог споживачів. Слід відзначити високі вимоги споживачів не лише до якості самого виробу, а й до рівня його комфортності на рівні відчуттів.

Французька дизайнерка Таня Хіт (Tanya Heath) подбала про жінок, які щодня стикаються з проблемою: купити стильні та красиві на незручній шпильці або на низьких стійких підборах, але не такі ошатні. Дизайнеркою запропоноване взуття-трансформер з комплектом змінних каблуків різної висоти та фасонів [5]. Таке взуття містить підшву з носковою, геленочною (еластичною) й п'ятковою частинами та складений каблук. Верхня та нижня (мобільна) частини з'єднані між собою за допомогою напрямних, виконаних у формі ластівчина хвоста. У верхній частині каблуків розташований фіксуючий елемент. Дана конструкція взуття передбачає запасну (додаткову, змінну) нижню частину каблуків. Незручність полягає у тому, що змінну частину каблуків необхідно носити з собою. Крім того, геленочна частина такого взуття виконана еластичною, що створює дискомфорт під час ходьби та впливає на експлуатаційні характеристики виробу.

Автори роботи [7] пропонують інше конструктивне рішення. Взуття складається з верху, з'єданого з підшвою з носковою, геленочною й п'ятковою частинами, та складеного каблуків. Верхня та нижня частини з'єднані між собою за допомогою опорного стержня. Верхня частина цього стержня у поперечному перерізі має призматичну форму. Верхня частина каблуків закріплена у п'ятковій частині підшви, а нижня – з можливістю поворотного переміщення. Крім того, верхня частина каблуків містить паз, в якому встановлений опорний стержень з можливістю поворотного переміщення. Недоліком даної конструкції

взуття є те, що зміна висоти каблука впливає на експлуатаційні характеристики взуття та створює незручності при ходьбі.

Нами поставлено задачу створення такого взуття, в якому введення нових елементів і зв'язків між ними забезпечує підвищення експлуатаційних характеристик виробу та сприяє розширенню асортименту. Дана задача вирішується завдяки тому, що взуття містить верх, який з'єднано з підошвою, з носковою, геленочною й п'ятковою частинами й складений каблук, верхня та нижня частини якого з'єднані між собою за допомогою опорного стержня, який має призматичну форму поперечного перерізу. Верхня частина каблука закріплена в п'ятковій частині, а нижню – у відповідності до запропонованого нового конструктивного рішення має можливість поворотного переміщення завдяки оснащення пружним елементом та стопорною шайбою. Нижня частина опорного стержня має циліндричну форму поперечного перерізу та паз, в який встановлюється стопорна шайба. При цьому з метою модульної трансформації взуття під час його експлуатації нижня частина каблука складається з двох елементів, що виконані як одне ціле та мають криволінійну поверхню, що співпадає з поверхнею верхньої частини каблука і геленочної частини підошви. У роботах [8–10] розглянуто анатомічну будову та функціонування стопи людини у взутті з низьким, середнім та високим каблуком. Представлені результати досліджень конфігурації геленочної частини підошви в залежності від висоти каблука можуть бути використані при проектуванні криволінійної поверхні верхньої та нижньої частин запропонованої конструкції складеного каблука, що передбачає його модульну трансформацію при експлуатації виробу.

У центрі нижньої частини запропонованої нами конструкції каблука є отвір. Відповідно до поперечного перерізу опорного стержня отвір має призматичну форму. Опорний стержень вставляється у циліндричний паз в отворі нижньої частини каблука. У циліндричний паз над стопорною шайбою вставляється пружний елемент. Доцільно з метою розширення асортименту елементи нижньої частини каблука виконати у різних кольорових гамах, що гармонійно поєднуються з кольором верхньої частини взуття [7]. Введення у запропоновану нами конструкцію взуття пружного елемента та стопорної шайби, виконання нижньої частини опорного стержня в поперечному перерізі циліндричної форми з пазом, в який встановлюється стопорна шайба, забезпечує швидку заміну нижньої частини каблука [7]. Конструкція нижньої частини каблука у вигляді двох елементів, виконаних як одне ціле з криволінійною поверхню, кривизна якої співпадає з поверхнею верхньої частини каблука та геленочної частини підошви; наявність в її центрі отвору призматичної форми відповідно до поперечного перерізу опорного стержня дозволяє запобігти осьовому переміщенню нижньої частини відносно верхньої частини каблука. Надійну фіксацію нижньої частини каблука відносно верхньої, а також можливість швидкої зміни елементів нижньої частини каблука (поворот нижньої частини каблука відносно осі опорного стержня) забезпечує встановлення у циліндричний паз опорного стержня та пружного елемента в циліндричний паз над стопорною шайбою. Виконання елементів нижньої частини каблука різної форми дозволяє змінювати форму каблука (елементи нижньої частини каблука мають різну площу контакту з поверхнею підлоги), що разом забезпечить підвищення експлуатаційних характеристик виробу та розширить асортимент. На рис. 1–4 представлено креслення запропонованої конструкції каблука жіночого взуття.

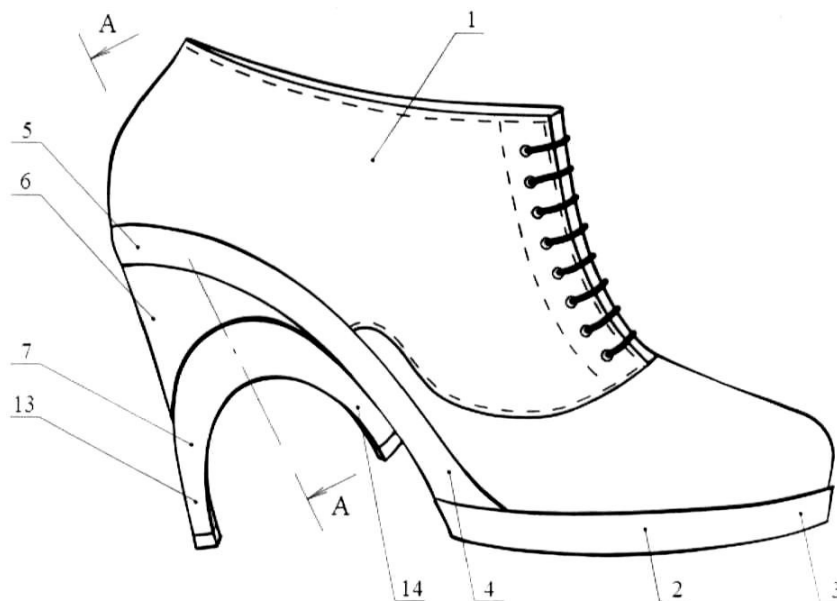


Рис. 1. Загальний вигляд взуття нової конструкції

Взуття, що містить верх 1, який з'єднано з підошвою 2, що містить носкову 3, геленочну 4 й п'яткову 5 частини та каблук (рис. 1). Складений каблук містить верхню 6 та нижню 7 частини, які з'єднано між собою за допомогою опорного стержня 8 (рис. 2), що має призматичну форму поперечного перерізу у

верхній частині 9, а його нижню частину 10 виконано в поперечному перерізі циліндричною і вона має паз 11, в який встановлено стопорну шайбу 12. Нижня частина каблука 7 складається з двох елементів 13 та 14, які виконані як одне ціле та мають криволінійну поверхню, що співпадає з поверхнею верхньої частини каблука 6 та геленочної частини 4 підшви 2. У центрі нижньої частини каблука є отвір 15 призматичної форми у відповідності до поперечного перерізу опорного стержня 8 та циліндричний паз 16, в який встановлюється опорний стержень 8. Пружний елемент 17 встановлюється у циліндричний паз 16 над стопорною шайбою 12. Крім того, елементи 13 та 14 нижньої частини каблука 7 пропонується виконати різними не лише за формою, а й за кольором (рис. 3а та рис. 3б).

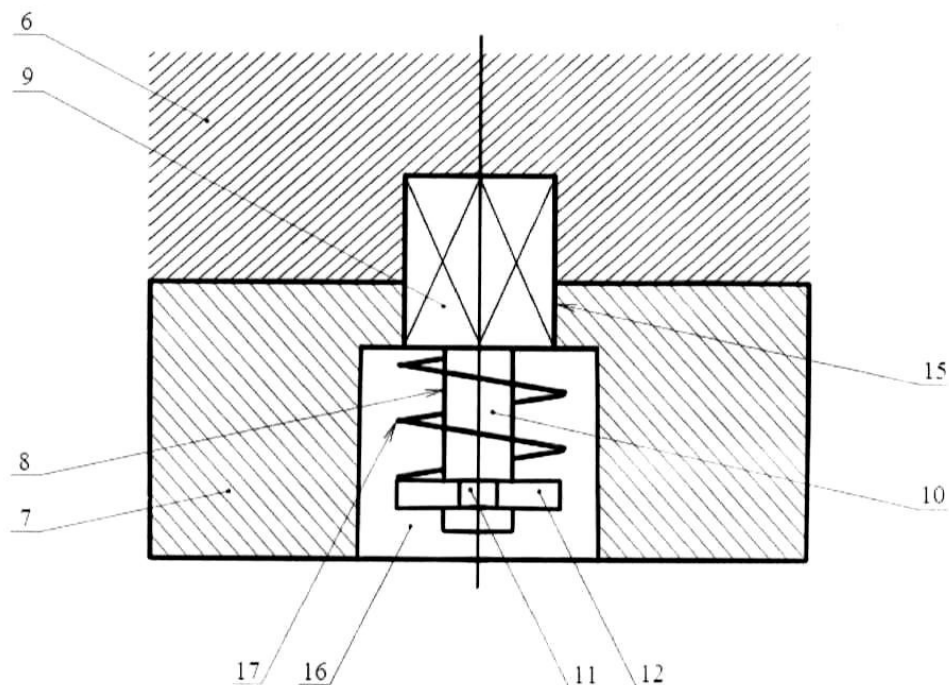


Рис. 2. Переріз А-А

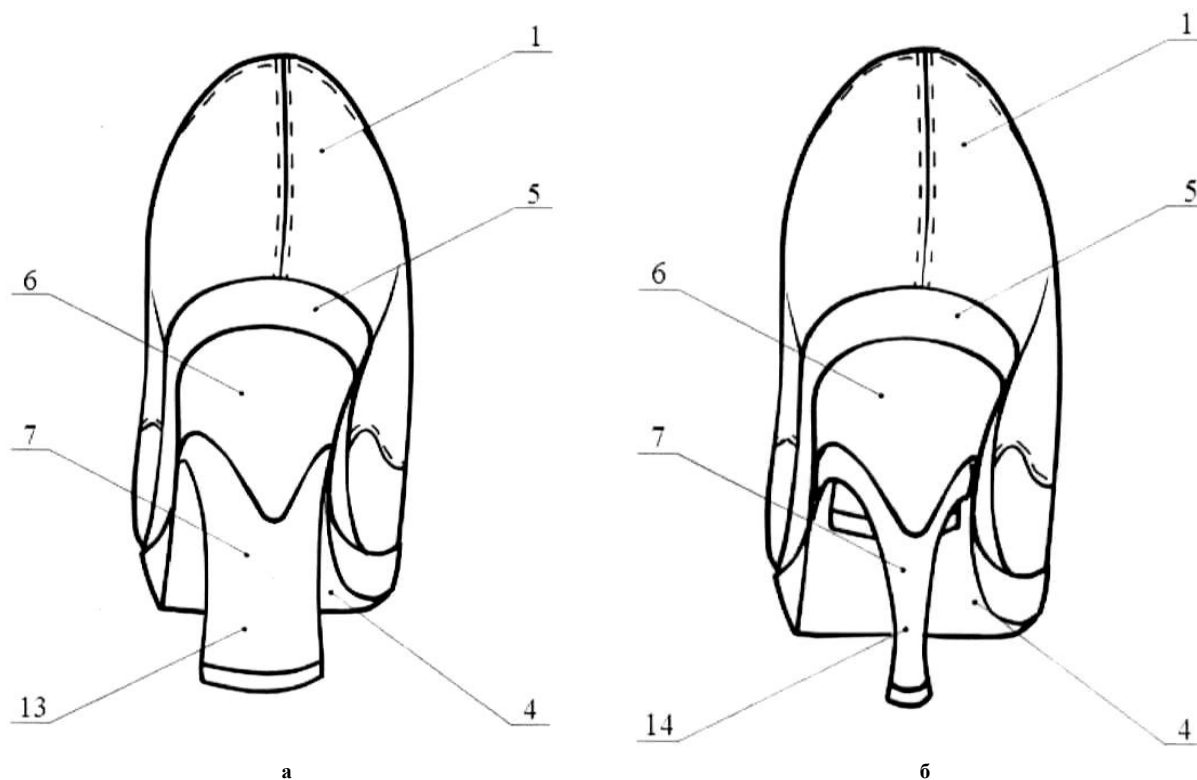


Рис. 3. Вигляд ззаду:

а - з першим елементом нижньої частини каблука; б - з другим елементом нижньої частини каблука

У запропонованій конструкції каблука його трансформація виконується наступним чином. Зміна елемента 13 на елемент 14 нижньої частини каблука 7 відносно верхньої частини каблука 6 закріпленої на

п'ятковій частині 5 (поворот нижньої частини каблука 7 відносно вісі опорного стержня 4) передбачає наступні дії (рис. 2 та рис. 4): нижню частину каблука 7, переміщують вздовж опорного стержня 8 по верхній частині 9, що має отвір 15, виконаний призматичної форми поперечного перерізу до нижньої частини 10, тобто до циліндричної поверхні. При цьому долають зусилля пружного елемента 17, розташованого в циліндричному пазу 16 нижньої частини каблука 7, стискаючи його між нижньою частиною каблука 7 і верхньою площиною стопорної шайби 12, встановленою в паз 11. Далі нижню частину каблука 7 повертають на 180°, тим самим міняють місцями елементи 13 та 14, та під дією пружного елемента 17, переміщують нижню частину каблука 7 вздовж опорного стержня 8 по верхній частині 9 призматичної форми поперечного перерізу, щоб верхня поверхня нижньої частини 7 каблука співпала з поверхнею верхньої частини каблука 6 та геленочної частини 4 підошви 2. Для зміни елемента 14 на елемент 13 нижньої частини каблука 7 взуття всі дії виконують у зворотному порядку.

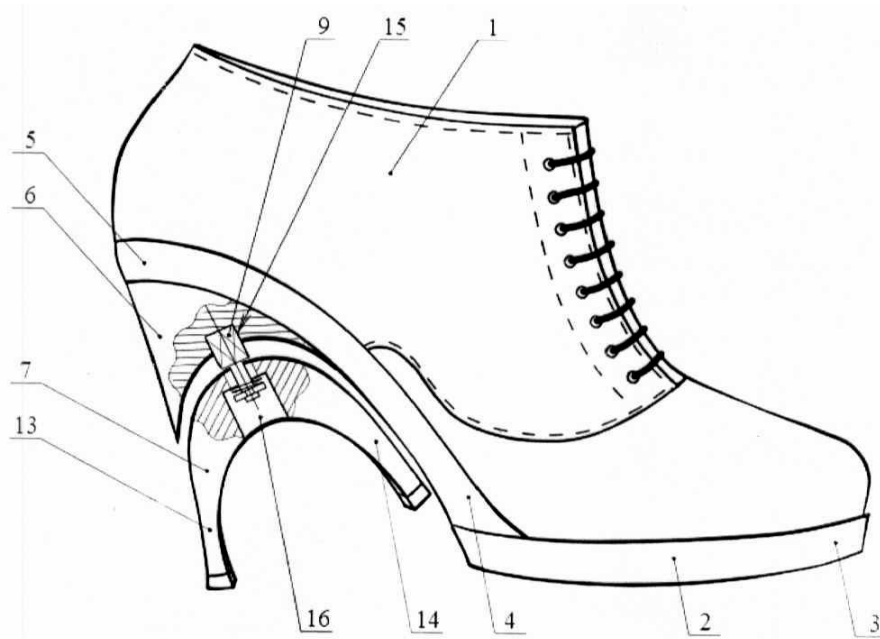


Рис. 4. Загальний вигляд взуття в розрізі, при зміні елементів нижньої частини каблука

Запропоноване конструктивне рішення дозволить користувачу, за своїм бажаннями, змінювати форму та колір каблука у своєму взутті, що збільшить термін його експлуатації та розширить асортимент взуття у гардеробі жінки без появи додаткової пари та відповідно зайвих грошових витрат.

Висновки

1. Каблук є однією з найбільш відповідальних деталей взуття, що забезпечує захист його п'яткової частини від швидкого руйнування. Рациональність конструкції взуття при його експлуатації залежить від якості проектних рішень, що враховують його естетично-ергономічні функції.

2. Форма та конструкція каблука підвладні тенденціям моди, оскільки забезпечують гармонію в одязі. Модульна трансформація каблука, оснащеного пружним елементом та стопорною шайбою, дозволяє створити функціональне взуття зі змінною формою каблука.

3. Проблема вибору форми каблука вирішено шляхом удосконалення його конструкції, завдяки якій жінки мають змогу менше часу проводити у взутті на підборах з малою площею контакту й уникнути низки хвороб та разом з тим матимуть можливість у потрібну мить підкреслити свою жіночу красу підборами витонченої форми.

Література

1. Стопа и рациональная обувь [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.medical-enc.ru/stopa/rol-kabluka-v-konstrukcii-obuvi.shtml>
2. Виды каблуков и способы их крепления [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.mixfashion.ru/shoes/vidy-kablukov-i-sposoby-ix-prikrepleniya.html>
3. Высокие каблуки как «модное» вредительство [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.oum.ru/literature/zdorovje/vysokie-kabluki-kak-modnoe-vreditelstvo/>
4. Михайловська О.А. Визначення факторів впливу конструкцій взуття на стопу людини. / О.А. Михайловська, А.В. Мостовік // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 5. – С. 125–128.
5. Обувь-трансформер со съёмными каблуками [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://shoes.ua/news/tanya_heath-131.html

6. Пат. 2389420 РФ, МПК А43В 21/00. Обувь с регулируемым по высоте высоким каблук [Электронный ресурс] / ХАНДЕЛ Дэвид (US), УАЙТ Аян (US), УАЙТ Дэвид (US). – № 2007141866/12 ; заявлено 17.04.2006 ; опубл. 20.05.2010. – Режим доступа : <http://www.freepatent.ru/images/patents/73/2389420/patent-2389420.pdf>
7. Патент на корисну модель 120261 U, МПК (2017.01) А43В 9/00. Взуття зі змінним каблук / Макатьора Дмитро Анатолійович (UA), Власенко Алла Юріївна (UA), Макатьора Альона Віталіївна (UA). № u201704467 ; заявлено 05.05.2017 ; опубл. 25.10.2017. – Режим доступа : <http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=240538&chapter=description>
8. Надопта Т.А. Анатомо-морфо-функціональне обґрунтування раціональної конструкції верху взуття з низьким каблук. / Т.А. Надопта // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 1. – С. 247–250.
9. Надопта Т.А. Дослідження анатомічних характеристик стопи для врахування їх при проектуванні деталей верху взуття на середньому та високому каблуці / Т.А. Надопта, В.П. Либа // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 2. – С. 259–262.
10. Надопта Т.А. Характерні криві профільного абрису прототипу взуття / Т.А. Надопта, Ю.В. Пухальська // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – № 2. – С. 89–99.
11. Коновал В. П. Універсальний довідник взуттєвика : навчальний посібник / В. П. Коновал, С. С. Гаркавенко, Л. Т. Свістунова. – Київ : Лібра, 2005. – 720 с.
12. Коуплэнд Г. Все о здоровье ваших ног. От младенчества до старости / Г. Коуплэнд, С. Соломон. – М. : АСТ, 2008. – 224 с.

References

1. Stopa i ratsionalnaya obuv. URL: <http://www.medical-enc.ru/stopa/rol-kabluka-v-konstrukcii-obuvi.shtml>
2. Vidy kablukov i sposoby ih krepleniya. URL: <http://www.mixfashion.ru/shoes/vidy-kablukov-i-sposoby-ix-prikrepleniya.html>
3. Vysokie kabluki kak «modnoe» vreditelstvo. URL: <https://www.oum.ru/literature/zdorovje/vysokie-kabluki-kak-modnoe-vreditelstvo/>
4. Mykhailovska O.A. Vyznachennia faktoriv vplyvu konstrukttsii vzuttia na stopu liudyny / O.A. Mykhailovska, A.V. Mostoviuk // Herald of Khmelnytsky National University. – 2012. – № 5. – С. 125–128.
5. Obuv-transformer so s'emnyimi kablukami. URL: https://shoes.ua/news/tanya_heath-131.html
6. Pat. 2389420 RF, МПК А43В 21/00, Обув с регулируемым по высоте высоким каблук // HANDEL Devid (US), UAYT Ayan (US), UAYT Devid (US). № 2007141866/12; заявлено 17.04.2006; опубл. 20.05.2010. – URL: <http://www.freepatent.ru/images/patents/73/2389420/patent-2389420.pdf>
7. Patent na korysnu model 120261 U, МПК (2017.01) А43В 9/00. Vzuttia zi zminnym kablukom / Makatora Dmytro Anatoliiovych (UA), Vlasenko Alla Yuriivna (UA), Makatora Alona Vitaliivna (UA). № u 2017 04467; zaiavleno 05.05.2017; opubl. 25.10.2017. URL: <http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=240538&chapter=description>
8. Nadopta T.A. Anatomo-morfo-funktsionalne obhruntuvannia ratsionalnoi konstrukttsii verkhу vzuttia z nyzkym kablukom / T.A. Nadopta // Herald of Khmelnytsky National University. – 2010, № 1. – С. 247–250.
9. Nadopta T.A. Doslidzhennia anatomichnykh kharakterystyk stopy dlia vrakhuvannia yikh pry proektuvanni detalei verkhу vzuttia na serednomu ta vysokomu kablutsi / T.A. Nadopta, V.P. Lyba // Herald of Khmelnytsky National University. – 2010, № 2. – С. 259–262.
10. Nadopta T.A. Kharakterni kryvi profilnoho abrysu prototypu vzuttia / T.A. Nadopta, Yu.V. Pukhalska // Herald of Khmelnytsky National University. – 2011, № 2. – С. 89–99.
11. Konoval V. P. Universalnyi dovidnyk vzuttievyyka: navchalnyi posibnyk / V. P. Konoval, S. S. Harkavenko, L.T. Svistunova. Kyiv: Libra, 2005. – 720 s.
12. Glenn Kouplend Vse o zdorove vashih nog. Ot mladenchestva do starosti / G. Kouplend, S. Solomon. M. : AST, 2008. – 224 s.

Рецензія/Peer review : 13.04.2018 р. Надрукована/Printed : 14.05.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф., зав. кафедри ТКШВ КНУТД Березненко С.М.

ОСОБЛИВОСТІ ПОЦЕСІВ ДОДУБЛЮВАННЯ-НАПОВНЮВАННЯ В ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ЕЛАСТИЧНИХ ШКІР СВІТЛИХ КОЛЬОРІВ (ОГЛЯДОВА)

Проведено аналіз композиційних додублювально-наповнювальних матеріалів природного і синтетичного походження, які використовують в сучасному шкіряному виробництві та враховують особливості сировини, специфічну їх дію на структуру напівфабрикату, ефективне використання та екологічну безпеку. У цьому відношенні особливо перспективними композиційними інгредієнтами можна вважати акрилові полімери різної хімічної структури і складу та високодисперсні сполуки кремнію природного і синтетичного походження.

Ключові слова: шкіряний напівфабрикат, додублювально-наповнювальні процеси, композиція для наповнювання, матеріали природного і синтетичного походження, властивості шкіри.

S.O. BILINSKIY, A.H. DANYLKOYCH
Kyiv National University of Technologies and Design

USE OF HIGHLY-DYSPERSED OXIDE SILICON IN THE TECHNOLOGY OF MANUFACTURING OF LEATHER SEMI-FINISHED PRODUCT

The purpose of the work is to analyze the materials of natural and synthetic origin for add-duplicating-filling the leather semi-finished product and modern technologies of manufacturing skins of chrome tanning of light colours. The analysis of add-duplicating-filling processes in the technology of forming elastic skins of composite materials of natural and synthetic origin, which are used in modern leather production and take into account the peculiarities of raw material, their specific effect on the structure of semi-finished products of chrome tanning, efficient use of raw material and ecological safety was carried out. The structural transformation of the dermis of leather semi-finished products at this stage of its processing ensures the effective conduction of the following drying-humidifying processes and operations, aimed at increasing the homogeneity of the skin, its physic-chemical properties in the topographic areas, the exit of the area and the formation of high-quality material. In this case, acrylic polymers of a different chemical structure and composition and highly dispersed silicon compounds of natural and synthetic origin can be considered particularly promising composite ingredients. For production of elastic leather of chrome tanning of a wide range replacement of plant reagents of natural origin on silicon compounds allows to form skin of light colours with a complex of high consumer properties.

Keywords: leather semi-finished product, add-duplicating-filling processes, composition for filling, materials of natural and synthetic origin, skin properties.

Вступ

Сучасні технології виробництва повинні відповідати високим вимогам щодо їх економічної ефективності, масо- і енергозатратності та екологічності. У цьому відношенні це стосується шкіряного виробництва, яке характеризується багатостадійністю, різноманітністю видів сировини, високою матеріалоемністю і тривалістю оброблень, які мають враховуватись при виготовленні еластичних шкіряних матеріалів різного призначення. При цьому шкіри хромового дублення характеризуються комплексом високих пружно-пластичних властивостей. Однак при виготовленні шкір світлих кольорів створюються значні труднощі, які можуть бути усунені завдяки видаленню з технологічного процесу додублювання-наповнювання з використанням рослинних екстрактів шляхом їх заміни новими ефективними реагентами. У цьому відношенні перспективними можна вважати сполуки кремнію.

Постановка завдання

Метою роботи є аналіз матеріалів природного і синтетичного походження для наповнювання шкіряного напівфабрикату та сучасних технологій виготовлення шкір хромового дублення світлих кольорів. При цьому завданнями роботи є встановлення:

- асортименту матеріалів для додублювання-наповнювання шкіряного напівфабрикату;
- особливостей процесів додублювання-наповнювання у технологіях виготовлення шкір хромового дублення;
- перспектив використання технологічних матеріалів при виготовленні шкір світлих кольорів.

Матеріали природного і синтетичного походження для наповнювання шкіряного напівфабрикату

Дія різнофункціональних додублювально-наповнювальних матеріалів направлена, переважно, на вирівнювання властивостей шкіри та її поверхні за топографічними ділянками та отримання високого формування об'єму дерми. Для досягання позитивного результату використовують широкий асортимент реагентів і матеріалів різного хімічного складу і структури. Для додублювання-наповнювання шкіряного напівфабрикату хромового дублення рекомендується застосовувати дисперсії полімерів, синтетичні та рослинні дубителі, аміно- та діціандіамідні смоли [1–3].

При виготовленні шкіри відомо використання неорганічних наповнювачів [4, 5], а саме: сульфату барію, літопону (суміш сульфату барію і сульфату цинку), оксиду титану (IV), оксиду алюмінію. При цьому завдяки використанню оксиду титану (IV) формуються білі світлостійкі шкіри. З цією метою також використовуються природні мінерали: каолін, бентоніт, тальк [6]. Враховуючи невисоку їх хімічну активність ці реагенти відкладаються в міжволоконному просторі, переважно, в пухких ділянках

напівфабрикату, не суттєво впливають на мереживку лицьового шару і сприяють кращому шліфуванню шкіри та утворенню низького ворсу. Використання каоліну в основному процесі наповнювання напівфабрикату суміщається з його подублюванням рослинними дубителями чи аміносмолами.

Ефективним є наповнювання шкіряного напівфабрикату композицією, що включає лігносульфонові кислоти, каолін та борошно з витратами, відповідно: 3,5, 3,7, 0,8 % [7]. Однак обмежені витрати лігносульфонових кислот та особливості кристалічної будови каолініту впливають недостатньо на формування структури дерми, через що готова шкіра характеризується низькою наповненістю та не суттєвим зростанням площі.

Досить перспективним можна вважати використання для формування об'єму шкіряного напівфабрикату високодисперсних алюмосилікатів [8, 9]. Висока сорбційна поверхня та хімічна спорідненість до колагенової структури за умови модифікації дисперсій таких мінеральних наповнювачів запобігає склеюванню структурних елементів дерми напівфабрикату. Завдяки своїй нанорозмірній дисперсності, гідрофільності, адсорбційній та йонообмінній здатності, а також анізотричній формі частинок [10–12], вони надають шкірі комплекс необхідних фізико-хімічних і гігієнічних властивостей.

Композиція на основі сполук алюмінію, кремнезему, сульфату тетракіс (гідроксиметил) фосфонію (THPS) [13] розроблена для отримання шкір білого кольору. При поєднанні цих реагентів кремнезем-Al, кремнезем-THPS і кремнезем-THPS-Al встановлено їх вплив на технологічні властивості шкіри. При цьому температура гідротермічної стійкості шкіри (ГТС) при використанні композиції кремнезем-Al-THPS є досить низькою.

Для підвищення ГТС у роботі [14] використано SiO_2 . В результаті активної взаємодії з колагеном нано- SiO_2 при витраті 0,3 % від маси напівфабрикату досягається ГТС шкіри 95 °C У роботі [15] використані ферментно-модифіковані наповнювачі при виготовленні оббивних шкір білого кольору. При цьому отримані шкіри порівняно з контрольними мали підвищені органолептичні властивості. Результати дослідження використання в технологічних обробленнях шкур композиції на основі нано- SiO_2 і оксазолідину [16] свідчать про рівномірність розподілу в структурі напівфабрикату нано SiO_2 навіть при концентрації меншій ніж 5 мас. %. При цьому розмір частинок наповнювача можна контролювати в діапазоні 60–150 нм. Встановлено, що при концентрації SiO_2 понад 7 % більшість частинок агломерують і їх розмір перевищує 400 нм. Шкіра, оброблена оксазолідин-нано- SiO_2 композицією, характеризується підвищеною стійкістю до утворення плісняви. При цьому спостерігається значне зниження вмісту твердих частинок та підвищення біорозкладності органічних сполук у стічних водах.

Авторами [17] синтезовано вісім кополімерів на основі акрилової кислоти: метил акрилової кислоти, етилакрилат, бутилакрилат, вінілацетат, метилакрилат, акриламід, ітаконова кислота, 2-гідроксиетилакрилат, які використані для подублювання шкіряного напівфабрикату. При цьому кополімери бутилакрилат і етилакрилат порівняно з іншими забезпечують максимальну пластичність шкіри [18]. Використання водних емульсій кополімерів бутилакрилату і стиролу з різним розміром частинок забезпечило формування шкір з підвищеними показниками термостабільності, міцності та еластичності [19]. При цьому знижується забрудненість стічних вод підприємства. Згідно з публікацією [20] співробітники концерну Lanxess розробили нові полімерні матеріали з використанням поліамід-карбонової кислоти для наповнювання-жирування різних видів еластичних шкір. До переваг цього полімеру порівняно з натуральними жирувальними матеріалами слід віднести його тепло-, світлостійкість при високій інтенсивності забарвлення.

Для наповнювання шкір оббивних і для верху взуття використовують побічні продукти сироваріння і желатин [21]. Наповнювальна здатність цих реагентів збільшується у чотири рази при попередній обробці напівфабрикату 2,5 % розчином ферменту – мікробної трансглютамінази. При збільшенні його витрати спостерігається зменшення наповнювальної здатності. Отримані шкіри характеризувались підвищеними значеннями показників еластичності, наповненості та забарвлення. Зразки шкіри з ділянки поли попередньо оброблені ферментом порівняно з контрольними мали підвищену міцність лицьового шару. При використанні мікробної трансглютамінази та взаємодії гідролізату і казеїну з глутаровим альдегідом синтезовані наповнювачі хімічно зв'язуються з колагеном дерми [22] і не можуть бути видалені з напівфабрикату при подальших його обробленнях.

Для наповнювання шкіряного напівфабрикату використовують полімер-танідні наповнювачі (ПТН). Зокрема автором роботи [23] синтезовані дубителі на основі акриламід (АА) і гліциділметакрилату (ГМ), що використані разом з лігносульфонатами (ЛС), екстрактом квебрахо (ЕК) і хітозаном. Отримані шкіри за ступенем еластичності дозволяють розташувати ПТН при їх 5 % витраті у наступній послідовності: ЕК > АА-хітозан > ГМ-ЛС > АА-ЛС > АА-ЕК. За підвищенням товщини найкращі результати мали шкіри отримані при використанні синтезованих дубителів ЕК > АА-ЕК > АА-ЛС. При цьому менш виражений ефект у випадку ПТН дубителів АА-ЕК і АА-ЛС обумовлений блокуванням в їх молекулах частини активних груп, більшою молекулярною масою та розміром частинок порівняно з ЕК. Разом з тим ПТН ГМ-ЛС завдяки наявності в їх молекулах реакційно здатних функціональних груп надає шкіряним матеріалам високі фізико-механічні властивості внаслідок додаткового структурування колагену шкіряного напівфабрикату.

Серед досліджених полімерів-наповнювачів найбільший вплив на властивості шкіри виявляють аміносмоли [24], які відрізняються високою здатністю вибірково поглинатись напівфабрикатом і надавати

шкірі необхідної щільності. Слід відзначити додублювальню-наповнювальний вплив на шкіряний напівфабрикат діметилсечовини та її модифікованих похідних – меламіно-формальдегідні та діціандіамідної смоли, які отримують конденсацією альдегідів із сечовиною, меламіном й діціандіамідом. Перевага аміносмол полягає у тому, що шкіра добре наповнена з щільним й міцним лицьовим шаром, який має високу здатність до шліфування. На практиці діціандіамідні смоли застосовують для введення в напівфабрикат у комбінації з неорганічними, рослинними чи синтетичними дубителями.

Отже, вибір композиційних інгредієнтів має вирішальне значення з точки зору формування технологічних і споживних властивостей готового матеріалу при додублюванні-наповнюванні шкіряного напівфабрикату хромового дублення у технологіях виробництва шкір різного призначення. Тому розробка і дослідження композицій різного хімічного складу для ефективного наповнювання напівфабрикату хромового дублення має враховувати як вид сировини, так і попередні оброблення, функціональні властивості готової шкіри, а також екологічну безпеку технологічного процесу.

Технології використання синтетичних полімерів у додублювальню-наповнювальних процесах

Ефективність використання шкіряної сировини при виготовленні еластичних шкір та усунення технологічних дефектів досягається, в основному, в процесах додублювання і наповнювання шкіряного напівфабрикату завдяки подальшого формування його структури. При цьому зменшується тягучість шкіряного напівфабрикату, ущільнюється його лицьова поверхня, підвищується здатність до шліфування та вакуумного сушіння, вирівнюється товщина і щільність різних топографічних ділянок. Як правило, в додублювальних процесах виконують перші чотири функції, тоді як в наповнювальних – дві останні.

Відома технологія [25] додублювання-наповнювання хромових шкір полімерами марки Полінекс 14, 16 та 54. Встановлені оптимальні параметри проведення фарбувально-жирувальних процесів для виробництва натуральних шкір з використанням водорозчинних акрилових кополімерів. При цьому досліджено їх взаємодію з колагеном та хромовим дубителем, відзначена вибірковість поглинання полімерів топографічними ділянками напівфабрикату з робочих розчинів та встановлено їх вплив на пористу структуру дерми.

Розроблено композицію для наповнювання-жирування шкіри для верху взуття на основі амфільного засобу [26] для проведення фарбувально-жирувальних процесів. В її склад рекомендується естер з циклічних полікарбонатних кислот або їх ангідридів і монофункціональних жирних спиртів. Однією з можливих взаємодій являється реакція ангїдриду пірометиллітової кислоти або суміші рицинолевої кислоти та ангїдриду малеїнової кислоти у співвідношенні 1 : 1 з аліфатичним спиртом.

На практиці для наповнювання частіше всього використовують одночасно рослинні та синтетичні дубителі. Для того, щоб отримати необхідний технологічний ефект, процеси додублювання та наповнення проводять диференційовано з врахуванням асортименту шкір. У роботі [27] описана технологія комбінованої обробки шкіряного напівфабрикату хромового дублення з використанням танідів мімози з оксазолідином. Отримана шкіра характеризується високими фізичними і технічними властивостями, які відповідають вимогам стандарту до шкір, отриманих з сировини великої рогатої худоби (ВРХ).

Технологію додублювання шкіряного напівфабрикату [28] з використанням танідів з кори квебрахо застосовують для виготовлення шкір для верху взуття. Відзначається, що застосування смол з рослинними дубителями забезпечує отримання рівної лицьової поверхні якісного забарвлення шкіри при зменшеній витраті натурального дубителя на 50 %. Для додублювання напівфабрикату хромового дублення використано водний екстракт з листя хни [29]. За властивостями отримані шкіри та економічною й технічною доцільністю використання екстракту як реагенту для додублювання відповідає значенням показників шкір додублених екстрактом мімози.

Використання спеціальних ліпосомних наповнювачів [30, 31] з бактерицидними властивостями – ефірних масел монарди дудчастої, чайного дерева, тагетису, полігексаметиленгуанїдину та ін. дає можливість сформувати шкіри з підвищеною стійкістю до біологічних деструктивних впливів. Враховуючи суттєво менші розміри частинок порівняно з відомими жирувальними композиціями, вони мають вищу дифузійну здатність, що сприяє підвищенню міцності та видовження при низьких навантаженнях.

В розробленій технології виготовлення шкір [32] реалізовані різні комбінації рослинних дубителів з алюмосилікатами і синтетичним дубителем. Фізико-хімічні показники отриманих шкір за комбінованим методом обробки відповідають вимогам стандартів для одягових шкір. Автори розробили перспективні технології виготовлення шкір нових видів, зокрема «Еко-шкіра» і «Біо-шкіра».

Авторами роботи [33] показано, що при наповненні шкіряного напівфабрикату дисперсіями полімалеїнату і поліакрилатами різної молекулярної маси із збільшенням розміру частинок з 17 до 562 нм відбувається зменшення пористості й паропроникності неоздобленої шкіри хромового дублення для верху взуття з сировини ВРХ при введенні полімеру на початку процесу. В той час як при використанні дисперсій полімерів на завершальній стадії рідинного оздоблення спостерігається деяке підвищення цих показників.

Ефективність використання рослинних дубителів може бути суттєво підвищена під дією ферментів [34, 35]. Зокрема, попереднє оброблення шкіряного напівфабрикату бактеріальною колагеназою сприяє суттєвому збільшенню дифузії танідів в шкіряний напівфабрикат. Це ефект обумовлений розкриттям волокнистої структури дерми. В результаті підвищується ефективності використання рослинних дубителів і, відповідно, суттєво знижується хімічне споживання кисню стічними водами. При цьому на 60 % знижується енергія активації процесу структурування.

Отже, використання тільки одних дисперсій синтетичних полімерів не може забезпечити повноцінну підготовку структури напівфабрикату до вакуумного сушіння і покривного фарбування. Особливо це стосується формування необхідного ступеня гідрофільності лицьового шару та його всмоктувальної здатності, що може призводити до суттєвої втрати площі шкіри і зниження гігієнічних властивостей. У зв'язку з цим додублювання-наповнювання шкіряного напівфабрикату дисперсіями полімерів бажано проводити в комплексі з синтетичними і рослинними дубителями. При цьому перевага надається екологічно безпечним реагентам і це стосується, в першу чергу, синтетичних матеріалів. Для ефективного проведення додублювально-наповнювальних процесів шкіряного напівфабрикату хромового дублення необхідно попередньо формувати його пористу структуру за допомогою диспергуючо-активних реагентів, а саме: вискодисперсних алюмосилікатів, жирувальних електролітостійких емульсій, ферментів спеціальної дії.

Висновки

1. Вирішальна роль додублювально-наповнювальних процесів у технологіях формування еластичних шкір, насамперед, полягає в структурному перетворенні дерми шкіряного напівфабрикату, спрямованому на підвищення однорідності його фізико-хімічних властивостей за площею, яке забезпечує ефективне проведення наступних сушильно-зволожувальних процесів і операцій, підвищення виходу площі та формування високоякісних шкір.

2. Серед композиційних додублювально-наповнювальних матеріалів у сучасному виробництві використовуються реагенти природного і синтетичного походження, які враховують особливості шкіряної сировини, специфічну їх дію на структуру напівфабрикату, ефективне використання та екологічну безпеку. У цьому відношенні особливо перспективними їх інгредієнтами можна вважати акрилові полімери різної хімічної структури і складу, вискодисперсні сполуки кремнію природного і синтетичного походження.

3. Для виготовлення еластичних шкір хромового дублення широкого асортименту заміна реагентів рослинного походження на сполуки кремнію дає можливість формувати дефіцитні шкіри світлих кольорів з комплексом високих пружно-пластичних і санітарно-гігієнічних властивостей.

Література

1. Kleban M. Ecological aspects of retanning agents / M. Kleban // JALCA. – 2002. – № 1. – Vol. 97. – P. 8–13.
2. Knaflitz F. Latest aspects of retanning full grain leather / F. Knaflitz // JALCA. – 1981. – № 9. – Vol. 76. – P. 320–331.
3. A novel water dispersible bentonite-acrylic graft copolymer as a filler cum retanning agent / Y. Lakshmiarayana, S. N. Jaisankar, S. Ramalingam, G. Radakrishnan // JALCA. – 2002. – № 1. – Vol. 97. – P. 14–22.
4. Mokrousova O. R. The use Na-montmorillonite as filling agent in leather manufacturing / O. R. Mokrousova // Programme and book of abstract of Baltic Polymer Symposium (Lithuania, Druskininkai, 19–21 September). – 2007. – P. 121.
5. Мокроусова О. Р. Екологічно орієнтовані технології застосування природних мінералів у виробництві шкіри / О. Р. Мокроусова, О. П. Козар // Вісник ХНТУ. – 2014. – № 1(48). – С. 128–136.
6. Zhao Y. T. Chinese developments in chrome-free and low-chrome tanning materials / Y. T. Zhao, W. Xue-Chuan // JSLTC. – 2007. – Vol. 91. – № 6. – P. 246–251.
7. Herfeld H. Erfahrung einer Studiereise in USA / H. Herfeld // Leder. – 1992. – № 9. – С. 209–227.
8. Mokrousova O. Hide and Skin of Mammals / O. Mokrousova, Yu. Volkovich // Structural Properties of Porous Materials and Powders Used in Different Fields of Science and Technology. – Springer London Ltd, 2014. – Part III : Chapter 12. – P. 84–93.
9. Nanophysics, Nanophotonics, Surface Studies, and Applications / E. Mokrousova, Y. Dzyazko, Y. Volkovich, N. Nikolskaya. – Switzerland // Springer Proceeding in Physics: Hfirt IV. Nanochemistry and Biotechnology 2016. – Vol. 183. – P. 277–290.
10. A novel water dispersible bentonite-acrylic graft copolymer as a filler cum retanning agent / Y. Lakshmiarayana, S. N. Jaisankar, S. Ramalingam, G. Radakrishnan // JALCA. – 2002. – Vol. 97. – № 1. – P. 14–22.
11. Bao Y. Preparation of acrylic resin/montmorillonite nanocomposite for leather tanning agent / Yan Bao, Jianzhong Ma, Yan-Li Wang // JALCA. – 2009. – Vol. 104. – № 10. – P. 352–358.
12. Preparation and application of vinyl polymer/MMT nano tanning agent / J. Ma, C. Yun, G. Dangge, B. D. Jianfang // JSLTC. – 2005. – Vol. 89. – № 5. – P. 181–185.
13. Wet white leather: A new combination tanning system / N. N. Fathima, T. Prem Kumar, D. Ravi Kumar, J. Raghava Rao, B. Unni Nair // JALCA. – 2006. – Vol. 101. – № 2. – P. 58–65.
14. Characteristics of leather tanned with nano-SiO₂ / H. Fan, L. I. Ling, B. I. Shi, H. E. Qiang, B. Peng // JALCA. – 2005. – Vol. 100. – № 1. – P. 22–30.
15. Treatments to enhance properties of chrome-free (wet white) leather / M. M. Taylor, J. Lee, L. P. Bumanlag, E. H. Balada, E. M. Brown // JALCA. – 2011. – Vol. 106. – № 2. – P. 35–43.
16. Nano-SiO₂ oxazolidine combination tanning: Potential for chrome-free leather // L. Yan, Z. Luo, H.

- Fan, Y. Liu, H. Li, B. Peng, B. Shi // JALCA. – 2008. – Vol. 92. – № 6. – P. 252–257.
17. Jianzhong M. Elasticity studies on leather retanned with various types of acrylic polymers / M. Jianzhong, L. Hua // JALCA. – 2008. – Vol. 103. – № 11. – P. 363–369.
18. Ma J. Z. Elasticity studies on leather retanned with various types of acrylic polymers / J. Z. Ma, H. Lu // J. Amer. Leather Chem. Assoc. – 2008. – Vol. 103, Issue 11. – P. 363–369.
19. Nashy E. H. A. Novel retanning agents for chrome tanned leather based on emulsion-nano particles of styrene/butyl acrylate copolymers / E. H. A. Nashy, A. L. Hussein, M. M. J. Essa // J. Amer. Leather Chem. Assoc.
20. Tysoe Ch. Technologie zur Weichmachung von Leder / Ch. Tysoe, J. Reiners // IDC Leder und Haute Markt. – 2009. – Vol. 1. – P. 26–30.
21. Whey protein isolate: A potential filler for the leather industry / E. H. Balada, M. M. Taylor, E. M. Brown, C. K. Liu, J. Cot // JALCA. – 2009. – Vol. 104. – № 4. – P. 122–130.
22. Use of enzymatically modified gelatin and casein as fillers in leather processing / M. M. Taylor, L. Bumanlag, W. N. Marmer, E. M. Brown // JALCA. – 2006. – Vol. 101. – № 5. – P. 169–178.
23. Чурсин В. И. Влияние исходных компонентов на кожевенно-технологические свойства полимеррастительных дубителей / В. И. Чурсин // Кожа и обувь. – 2009. – № 1. – С. 20–22.
24. Островская А. В. Фторсодержащие аминсодержащие и их применение в кожевенном производстве / А. В. Островская, А. В. Чернова, И. И. Латфулин // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2010. – № 11. – С. 584–585.
25. Горбатов С. В. Разработка пластифицированного сополимерного продукта для наполнения и жирования натуральных кож / С. В. Горбатов, Н. П. Тихвинская, Д. Г. Гадиев // Сб. НИР ЦНИИКП. – М. : Инфест, 2003. – С. 31–34.
26. Дормидонтова О. В. Влияние полимерных наполнителей на деформационные свойства кожи / О. В. Дормидонтова, В. И. Чурсин // Кож.-обувн. пром-сть. – 2003. – № 3. – С. 35–37.
27. Combined organic tanning based on mimosa and oxazolidine: development of a semi-industrial scale process for high-quality bovine upper leather / A. D'Aquino, N. Barbani, G. D'Elia et al. // SLTC. – 2013. – Vol. 1. – N 1. – P. 9–15.
28. Наполнение и додубливание хромовых кож полимерами нового поколения. Сообщение 2 / В. Д. Виницкий, О. П. Лебедев, Л. Л. Макаров-Землянский, Л. И. Гинзбург, С. В. Горбатов // Кож.-обувн. пром-сть. – 2003. – № 1. – С. 33–34.
29. Henna extract: can it be an alternative retanning agent? / A. E. Musa, B. Madchan, W. Madhalulatchan, S. Sadulla, J. A. Gasmelseed // JALCA. – 2008. – Vol. 103/–N 6. – P. 188–193.
30. Горячева Л. А. Наполнение кожи липосомными композициями / Л. А. Горячева, Н. А. Чиркова, О. И. Чиботарёва // Кожевенно-обувная промышленность. – 2011. – № 2. – С. 33–34.
31. Использование липосомальных композиций в производстве и эксплуатации кожи и меха / Н. А. Чиркова, Г. Ф. Есина, С. А. Чубатова, Е. В. Чипиленко // Технології та дизайн. – 2013. – № 3. – С. 1–8.
32. Gürlür Karaman D. Possibilities of usage of alkali aluminosilicates as tanning material in chromium-free leather production / D. Gürlür Karaman, G. Gülümser // JTATK. – 2016. – Vol. 26. – N 1. – S. 117–124.
33. Fordzyun Yu. Level of comfort: artificial and natural shoe materials. A comprehensive assessment / Yu. Fordzyun, O. Andreyeva, L. Maistrenko // Key Engineering Materials. – 2013. – Vol. 559. – P. 25–30.
34. Studies on the use of enzymes in tanning process. Part 1: high exhaust vegetable tanning / S. V. Kanth, P. R. Kannan, N. Usharani et al. // JALCA. – 2009. – Vol. 104. – P. 405–415.
35. Studies on the use of enzymes in tanning process. Part 2: kinetics of vegetable tanning process / S. V. Kanth, P. R. Kannan, N. Usharani et al. // JALCA. – 2010. – Vol. 105. – P. 16–24.

References

1. Kleban M. Ecological aspects of retanning agents / M. Kleban // JALCA. – 2002. – № 1. – Vol. 97. – P. 8–13.
2. Knaflig F. Latest aspects of retanning full grain leather / F. Knaflig // JALCA. – 1981. – № 9. – Vol. 76. – P. 320–331.
3. A novel water dispersible bentonite-acrylic graft copolymer as a filler cum retanning agent / Y. Lakshmiarayana, S. N. Jaisankar, S. Ramalingam, G. Radakrishnan // JALCA. – 2002. – № 1. – Vol. 97. – P. 14–22.
4. Mokrousova O. R. The use Na-montmorillonite as filling agent in leather manufacturing / O.R. Mokrousova // Programme and book of abstract of Baltic Polymer Symposium (Lithuania, Druskininkai, 19–21 September). – 2007. – P. 121.
5. Mokrousova O. R. Ekologichno oriyentovani tekhnologiyi zastosuvannya pryrodnykh mineraliv u vyrobnytstvi shkiry / O. R. Mokrousova, O. P. Kozar // Visnyk KHNTU. – 2014 rr. – № 1 (48). – S. 128–136.
6. Zhao Y. T. Chinese developments in chrome-free and low-chrome tanning materials / Y. T. Zhao, W. Xue-Chuan // JSLTC. – 2007. – Vol. 91. – № 6. – P. 246–251.
7. Herfeld H. Erfahrung einer Studiereise in USA / H. Herfeld // Leder. – 1992. – № 9. – С. 209–227.
8. Mokrousova O. Hide and Skin of Mammals / O. Mokrousova, Yu. Volkovich // Structural Properties of Porous Materials and Powders Used in Different Fields of Science and Technology. – Springer London Ltd, 2014. – Part III : Chapter 12. – P. 84–93.
9. Nanophysics, Nanophotonics, Surface Studies, and Applications / E. Mokrousova, Y. Dzyazko, Y. Volkovich, N. Nikolskaya. – Switzerland // Springer Proceeding in Physics: Hfirt IV. Nanochemistry and Biotechnology 2016. – Vol. 183. – P. 277–290.
10. A novel water dispersible bentonite-acrylic graft copolymer as a filler cum retanning agent / Y. Lakshmiarayana, S. N. Jaisankar, S. Ramalingam, G. Radakrishnan // JALCA. – 2002. – Vol. 97. – № 1. – P. 14–22.
11. Bao Y. Preparation of acrylic resin/montmorillonite nanocomposite for leather tanning agent / Yan Bao, Jianzhong Ma, Yan-Li Wang // JALCA. – 2009. – Vol. 104. – № 10. – P. 352–358.
12. Preparation and application of vinyl polymer/MMT nano tanning agent / J. Ma, C. Yun, G. Dangge, B.D. Jianfang // JSLTC. – 2005. – Vol. 89. – № 5. – P. 181–185.
13. Wet white leather: A new combination tanning system / N. N. Fathima, T. Prem Kumar, D. Ravi Kumar, J. Raghava Rao, B. Unni Nair // JALCA. – 2006. – Vol. 101. – № 2. – P. 58–65.

14. Characteristics of leather tanned with nano-SiO₂ / H. Fan, L. I. Ling, B. I. Shi, H. E. Qiang, B. Peng // JALCA. – 2005. – Vol. 100. – № 1. – P. 22–30.
15. Treatments to enhance properties of chrome-free (wet white) leather / M. M. Taylor, J. Lee, L.P. Bumanlag, E. H. Balada, E. M. Brown // JALCA. – 2011. – Vol. 106. – № 2. – P. 35–43.
16. Nano-SiO₂ oxazolidine combination tannage: Potential for chrome-free leather // L. Yan, Z. Luo, H. Fan, Y. Liu, H. Li, B. Peng, B. Shi // JALCA. – 2008. – Vol. 92. – № 6. – P. 252–257.
17. Jianzhong M. Elasticity studies on leather retanned with various types of acrylic polymers / M. Jianzhong, L. Hua // JALCA. – 2008. – Vol. 103. – № 11. – P. 363–369.
18. Ma J. Z. Elasticity studies on leather retanned with various types of acrylic polymers / J. Z. Ma, H. Lu // J. Amer. Leather Chem. Assoc. – 2008. – Vol. 103, Issue 11. – P. 363–369.
19. Nashy E. H. A. Novel retanning agents for chrome tanned leather based on emulsion-nano particles of styrene/butyl acrylate copolymers / E. H. A. Nashy, A. L. Hussein, M. M. J. Essa // J. Amer. Leather Chem. Assoc.
20. Tysoe Ch. Technologie zur Weichmachung von Leder / Ch. Tysoe, J. Reiners // IDC Leder und Haute Markt. – 2009. – Vol. 1. – P. 26–30.
21. Whey protein isolate: A potential filler for the leather industry / E. H. Balada, M. M. Taylor, E. M. Brown, C. K. Liu, J. Cot // JALCA. – 2009. – Vol. 104. – № 4. – P. 122–130.
22. Use of enzymatically modified gelatin and casein as fillers in leather processing / M. M. Taylor, L. Bumanlag, W. N. Marmer, E. M. Brown // JALCA. – 2006. – Vol. 101. – № 5. – P. 169–178.
23. Chursyn V. I. Vliyanye vykhidnykh komponent na kozhevenno-tekhnologichni vlastyivosti polimerrastylnykh okulyariv / V. I. Chursyn // Kozha y obuv. – 2009. – № 1. – S. 20–22.
24. Ostrovskaya A. V. Ftorsoderzhashchye aminomoly y ykh pryemnenye v kozhevennom proyzvodstve / A.V. Ostrovskaya, A. V. Chernova, I. I. Latfulyn // Vestnyk Kazan. tekhnol. univ. – 2010. – № 11. – S. 584–585.
25. Horbatov S. V. Rozrobka plastyfytsirovannoho sopolimernoho produktu dlya napovnennya ta zhyvlennya naturalnykh shkir / S. V. Horbatov, N. P. Tykhvynskaya, D. H. Hadyev // Sb. NYR TSNYYKP. – M: Ynfvest, 2003. – S. 31–34.
26. Dormyontova O. V. Vliyanye polimernykh napovnyuvachiv na deformatsiyni vlastyivosti shkiry / O.V. Dormyontova, V. I. Chursyn // Kozh.-obuvn. prom-st'. – 2003. – № 3. – S. 35–37.
27. Combined organic tanning based on mimosa and oxazolidine: development of a semi-industrial scale process for high-quality bovine upper leather / A. D'Aquino, N. Barbani, G. D'Elia et al. // SLTC. – 2013. – Vol. 1. – N 1. – P. 9–15.
28. Napovnennya i dodublyuvannya khromovykh polimeriv novoho pokolinnya. Povidomlennya 2 / V. D. Vynytskyy, O. P. Lebedev, L. L. Makarov-Zemlyanskyy, L. I. Hinzburh, S. V. Horbatov // Kozh.-obuvn. prom-st. – 2003. – № 1. – S. 33–34.
29. Henna extract: can it be an alternative retanning agent? / A. E. Musa, B. Madchan, W. Madhalulatchan, S. Sadulla, J. A. Gasmelseed // JALCA. – 2008. – Vol. 103. – N 6. – P. 188–193.
30. Horyacheva L. A. Napolnenye kozhy liposomnymi kompozitsiyami / L. A. Horyacheva, N. A. Chyrkova, O.I. Chybotarëva // Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost. – 2011. – № 2. – S. 33–34.
31. Vykorystannya liposomalnykh kompozitsiy u vyrobnytstvi ta ekspluatatsiyi shkiry ta mekha / N. A. Chyrkova, H. F. Yesina, S. A. Chubatova, E. V. Chypylenko // Tekhnolohiyi ta dyzayn. – 2013. – № 3. – S. 1–8.
32. Gürlér Karaman D. Possibilities of usage of alkali aluminosilicates as tanning material in chromium-free leather produgtion / D. Gürlér Karaman, G. Gülümser // JTATK. – 2016. – Vol. 26. – N 1. – S. 117–124.
33. Fordzyun Yu. Level of comfort: artificial and natural shoe materials. A comprehensive assessment / Yu. Fordzyun, O. Andreyeva, L. Maistrenko // Key Engineering Materials. – 2013. – Vol. 559. – P. 25–30.
34. Studies on the use of enzymes in tanning process. Part 1: high exhaust vegetable tanning / S. V. Kanth, P.R. Kannan, N. Usharani et al. // JALCA. – 2009. – Vol. 104. – P. 405–415.
35. Studies on the use of enzymes in tanning process. Part 2: kinetics of vegetable tanning process / S.V. Kanth, P. R. Kannan, N. Usharani et al. // JALCA. – 2010. – Vol. 105. – P. 16–24.

Рецензія/Peer review : 27.04.2018 р.

Надрукована/Printed :20.05.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Панасюк І. В.

СУЧАСНИЙ АСОРТИМЕНТ ТОВАРІВ ІЗ ТЕХНІЧНИХ КОНОПЕЛЬ

Обґрунтовано доцільність збільшення обсягів вирощування технічних конопель для виробництва з них різноманітних товарів в Україні. Наведено характеристику асортименту і властивостей екологічно безпечних товарів з коноплі, особливо текстильного призначення.

Ключові слова: текстиль з технічних конопель, властивості волокон, сучасний асортимент, спеціальні тканини, нові бренди одягу.

L.G. NIKOLAICHUK

Lviv University of Trade and Economics

THE MODERN ASSORTMENT OF ITEMS MADE OF INDUSTRIAL HEMP

Technical hemp - a traditional Ukrainian plenty raw material, which our ancestors have grown for many centuries. They used that for food, for sewing clothes, made medicines and decorative items. But over time, Ukrainian producers pushed out from the market under the fight against drugs. At the same time, the demand for technical hemp products in the world is constantly increasing: over the past 10 years, the global market for non-narcotic hemp has lifted "from scratch" to several hundred billion dollars. Today, 50 thousand kinds of various products are produced from hemp. In Ukraine, the hemp industry began to revive in 2012. Hemp fiber is one of the most versatile natural fibers that have been used in the textile industry for several centuries. It serves as a material for the manufacture of textiles, has increased strength, water resistance and durability. Cultivation of hemp for off-white environment is much safer than cultivating cotton. In addition, hemp fiber neutralizes toxins, does not allow the cultivation of pathogenic bacteria, does not create conditions that interfere with the metabolic processes in the skin. Therefore, textile materials from the hemp support the skin, providing protection by creating conditions for pleading breathing of the body throughout the day. A ultraviolet radiation that is harmful to our skin is absorbed by such materials almost completely (by 95%). A significant increase in production volumes and the expansion of assortment of various types of goods in Ukraine, obtained on the basis of hemp, made it necessary to carry out in-depth studies of assortment and properties of hemp materials and products of various purposes, a comprehensive assessment of their quality and competitiveness, and also economic substantiation of the areas of their most efficient use. Therefore, in the article the expediency of increasing cultivation of industrial hemp for the production of various products in Ukraine has been substantiated. The characteristics of the assortment and properties of environmentally friendly products made of hemp, especially those of textile purpose, has been provided. Practical experience in Ukraine has identified the need for the development of the following key areas of the industry: breeding, seed production and agrarian technology of modern hemp growing; clothing and footwear (fabrics, knitwear and hemp fiber shoes); cellulose; pharmacological; cosmetology and others.

Key words: textile made of industrial hemp, properties of fiber, modern assortment, special fabrics, new brand of cloth.

Постановка проблеми

Технічні коноплі – традиційна українська рослинна сировина, яку наші предки вирощували багато століть. Вони вживали її в їжу, шили з неї одяг, виготовляли ліки і декоративні вироби. Але з часом українських виробників виштовхнули з ринку під приводом боротьби з наркотиками. У той же час, в світі попит на продукцію з технічних конопель постійно зростає: за останні 10 років світовий ринок ненаркотичних конопель піднявся «з нуля» до кількох сотень мільярдів доларів. На сьогодні з конопель виготовляють 50 тис. видів різноманітної продукції.

Саме попит в Європі і Америці і підштовхнув українських виробників освоювати і розвивати цей сегмент ринку. Але, як виявилось на практиці, не все так просто. Не маючи підтримки держави, учасники цього ринку стверджують, що їм доводиться боротися з безглуздими нормативами і вимогами, вирішувати проблеми відсутності переробних заводів, самим шукати ринки збуту і формувати культуру споживання [1, 2].

Одним із перспективних видів рослинної технічної сировини є коноплі, декілька різновидів якої вирощується в різних регіонах України [3].

В останні роки у світі та в нашій країні суттєво зросли обсяги вирощування та переробки цих волокон. Про це переконливо свідчать такі факти: значне розширення посівних площ, подальше вдосконалення та екологізація технологій їх вирощування та переробки, суттєве збільшення обсягів виробництва та розширення асортименту різноманітних видів товарів, отриманих на їх основі. Це обумовило необхідність проведення поглиблених досліджень асортименту та властивостей коноплевмісних матеріалів і виробів різноманітного призначення, комплексної оцінки рівня їх якості та конкурентоспроможності, а також економічного обґрунтування сфер найбільш ефективного їх використання. Невипадково ці питання в останні роки висвітлюються у багатьох зарубіжних і вітчизняних професійних галузевих виданнях [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В Україні галузь коноплярства почала відроджуватися в 2012 році. Першопрохідникам доводилося діяти в рамках правової бази, норми якої розраховані на психотропну коноплю або марихуану. Наприклад, аграрії повинні були платити за охорону посівів. На сьогоднішній день цю вимогу скасували, але залишилося безліч інших норм, які гальмують розвиток цієї галузі.

Не поспішають чиновники підтримати перспективну галузь і щодо використання даної рослини. У всьому світі 100% рослини конопель переробляється. А листя і суцвіття – найдорожча сировина з 50–70% рентабельності, дуже затребуване в фармакології, косметології та продуктах харчування. Але через відсутність законодавчих норм, український виробник конопель може працювати тільки з насінням і

трестом. Тобто 15% рослини ми викидаємо, що становить в окремих випадках до 70% її рентабельності [5].

Конопляне волокно є одним з найбільш універсальних натуральних волокон, які використовуються в текстильній промисловості протягом декількох тисячоліть. Воно служить матеріалом для виготовлення текстилю, володіє підвищеною міцністю, водостійкістю і зносостійкістю. Вирощування конопель для навколишнього середовища набагато безпечніше, ніж вирощування бавовни.

Багаторіччями з конопляної пряжі виготовляють парусину, рогожу, полотно, брезент, кручені вироби (мотузки, канати, швейні нитки, шпагат) і технічний текстиль (клича, тканинні фільтри, приводні реміні, парашутні стропи, пожежні рукави, кінську упряж). Крім того конопляне волокно нейтралізує токсини, не дає розвиватися хвороботворним бактеріям, не створює умов, що перешкоджають обмінним процесам в шкірі. Тому текстильні матеріали з коноплі підтримують шкіру, забезпечуючи захист створюючи умови для клітинного дихання тіла протягом всього дня. А згубне для нашої шкіри ультрафіолетове випромінювання затримується такими матеріалами майже повністю (на 95%) [6].

Українська селекція і насінництво технічних конопель – одна з найбільш передових галузей світового сільськогосподарства. Наші фахівці створили і культивують унікальні безнаркотичні одностовбні сорти конопель, які не мають аналогів в світі, вони стали фундаментом ренесансу світового коноплярства. Національні сорти малонаркотичних конопель не тільки є одним з найефективніших фітомередіантів (вони сприяють відновленню родючості ґрунту), а й здатні вирости на непридатних для інших агрокультур ґрунтах. Технічне коноплярство – одна з найбільш високорентабельних і передових галузей сільськогосподарства не тільки в Україні, але і в світі.

В Україні практичним досвідом визначено необхідність розвитку таких основних галузевих напрямів: селекція, насінництво та аграрні технології як основа розвитку сучасного коноплярства; тканини, трикотаж та взуття з конопляного волокна – запорука існування здорової нації; целюлоза – національний досвід використання технічних конопель для виробництва целюлозно-паперової продукції; фармакологія щодо перспектив використання технічних конопель в якості терапевтичних засобів; косметика із використанням конопляних компонентів в засобах по догляду за тілом; біоенергетика як неефективне використання невичерпного джерела екологічно чистої конопляної сировини як одного з основних альтернатив традиційним видам викопного палива; будівництво – загальносвітові і національні тенденції споруди будівель і споруд з використанням різних будівельних матеріалів, виготовлених на конопляній основі; біокомпозити як альтернатива пластмас, пластику і навіть скловолокну; продукти харчування – в розрізі аналізу світових тенденцій на даному ринку, напрямки його подальшого розвитку, а також економічна складова глибокої переробки конопляної сировини [5].

Формулювання цілі статті

На основі аналізу літературних даних сформулювати вимоги до асортименту і властивостей текстильних матеріалів із технічних конопель і обґрунтувати сфери їх найбільш раціонального використання.

Виклад основного матеріалу

В Україні конопляні компоненти використовуються у виробництві текстильних виробів, косметології, фармакології, продуктів харчування, будівництві, зообізнесі, виготовленні сучасних біокомпозитних матеріалів, а також у багатьох інших сферах сучасної економіки. Значення промислових посівів технічних конопель як джерела відновлюваної сировини - неможливо переоцінити. Конопляна біоенергетика – світовий тренд розвитку альтернативних джерел енергії. Виробництво конопляного біопластика – інноваційна галузь, що дозволяє створювати екологічний матеріал з низькою собівартістю, що на 100% розкладається і дає реальну альтернативу продуктам нафтохімії.

В нашій країні зацікавлені і активно займаються вирішенням зазначених вище проблем за цими напрямками, а також розробкою та розширенням асортименту такі організації: Міністерство аграрної політики і продовольства України, Міністерство внутрішніх справ, Державна служба України з лікарських засобів та контролю за наркотиками, Асоціація «Українська технічна конопля», Інститут луб'яних культур Національної академії аграрних наук України, Національний університет біоресурсів і природокористування, Національний університет харчових технологій, Херсонський національний технічний університет, Ніжинський агротехнічний інститут НУБіП України, Балтійська асоціація виробників і переробників луб'яних культур, ReaciroLabs (Іспанія), ТОВ «Kagaz Shahary SEZ» (Казахстан), Laroche (Франція), ТОВ «Авекона», Група компаній «Linen of Desna», Alengroup, Hempt, Hemptire, ТОВ «Натуральна косметика», АстроЛакс Інвест, ФГ «Екосвіт» та ін [7, 8].

Одним з перспективних напрямів використання технічних конопель є створення одягу, взуття та аксесуарів повністю або з елементами конопляних текстильних матеріалів (тканих, трикотажних або нетканих). Наприклад, підприємство (alengroup) з 2005 року активні учасники ринку взуття, якому після багаторічного досвіду роботи прийшла ідея про створення нового продукту – конопляного взуття [5].

Якщо розглядати ринок асортименту товарів з технічних конопель, то лідером є Китай, контролюючи 79-80 %, у Європі провідними державами є Франція, Великобританія і Німеччина [9].

Далі, для прикладу, ми розглянемо тенденції використання технічних конопель у найбільших гігантах-країнах виробництва – Китаї та США.

В Китаї сучасні виробники вважають, що широкому поширенню конопляного текстилю і трикотажу в усьому світі будуть сприяти природні характеристики конопляних волокон. Як перевага,

акцентується увага на складній тривимірній структурі конопляного волокна. Воно володіє відмінними характеристиками вологовбирання, антибактеріальним та антигрибковим ефектом, забезпечує гарний захист від ультрафіолетових променів і дозволяє швидко сушити конопляний текстиль.

Основні тенденції китайського сучасного коноплярства:

- технічні коноплі є чудовою альтернативою бавовні;
- використання конопляного сировини в якості необхідних організму людини продуктів харчування;
- використання різних речовин, що входять до складу конопель, в якості основи нових лікарських засобів та фармакологічних препаратів;
- можливість поступового заміщення синтетичних на конопляні волокна, в тому числі в автомобільній промисловості.

Щодо конопляного текстилю, в якості альтернативи бавовні, конопля привертає увагу китайських фахівців вже досить значний період часу. Бавовна викликає екологічні проблеми в усіх країнах, де його вирощують, через величезну потребу в воді, засолення ґрунту і необхідність використання значної кількості хімічних препаратів. На сьогоднішній день ні якість, ні ціна китайського бавовни не є конкурентоспроможними на світовому ринку (в 2016 році Китай імпортував три мільйони тонн бавовни з США). Саме з цієї причини, текстильна промисловість Китаю цілеспрямовано створює замкнуті технологічні ланцюжки, здатні в промисловому масштабі вирощувати, переробляти і продавати продукцію з конопляного волокна.

Для забезпечення стрімкого розвитку текстильного напрямку розвитку китайського коноплярства, ініційована комплексна дослідницька програма за участю фахівців з академії наук провінції Хейлунцзян, України та Канади, спрямована на створення нових високопродуктивних сортів конопель зі збільшеним відсотковим вмістом волокна.

Як приклади розвитку конопляного текстилю, в китайському асортименті представлені надзвичайно тонкі тканини з конопель найвищої якості. На китайському ринку вже присутні костюми, куртки, сукні, брюки, нижня білизна, шкарпетки і великий вибір рушників, виготовлених з вище вказаних конопляних тканин. Найбільшим покупцем сучасної конопляної білизни є китайська армія, що замовляє уніформу і шкарпетки для своїх солдатів.

Крім усього іншого, на китайському ринку представлені віскозні волокна конопель (штучні волокна, отримані з конопляної целюлози). Змішуючи їх з бавовною, китайські коноплярі поставили на промисловий рівень виробництво вологих і косметичних серветок.

Щодо екологічного аспекту, вирощування конопель набагато більш екологічно, ніж вирощування бавовни, оскільки коноплі ростуть практично у всіх кліматичних зонах, однак найбільш сприятливою для них є помірний клімат. Це надзвичайно актуально для вирощування конопель в Китаї, так як в північно-східних регіонах країни для культивування промислових посівів технічних конопель не потрібне створення інфраструктури штучного зрошення. Коноплям для вирощування не потрібно значної кількості хімічних речовин і препаратів, вона ідеально підходить для сівозміни та забезпечує вдвічі більший урожай волокна, ніж бавовна.

З однакової площі посіву, коноплі поглинають в два рази більше вуглекислого газу з атмосфери, ніж бавовна [6].

В США, крім медичного напрямку, використання конопель одним з найрентабельніших є використання рослини в якості сировини для легкої промисловості. Тож не дивно, що вже після декількох років вирощування технічних конопель в якості основи для продуктового напрямку і сфери догляду за шкірою і волоссям, американські бізнесмени звернули свою увагу на ринок тканин і трикотажних виробів з конопляного волокна.

Так, наприклад, «Bastcore» – перша американська компанія, яка купує американське конопляне волокно і має систему його обробки для виробництва різного роду комерційних матеріалів: текстиль, композиційні матеріали, біомаса для виробництва енергії. На даний момент компанія закуповує конопляну сировину у сільськогосподарських виробників Колорадо, Кентуккі і Мінесоти, планує співпрацювати з коноплярами Північної Кароліни і штату Нью-Йорк.

Підготовлена конопляна сировина компанією «Bastcore» буде використовуватися фірмою «Recreator» з Лос-Анджелеса, що спеціалізується на виробництві футболок та іншої текстильної продукції, а саме у створенні ліній одягу преміум-класу для громадян США і товарів з конопель, які будуть користуватися попитом на зовнішніх ринках.

Потрібно зазначити, що велика частина сировини для конопляного ринку США імпортується з сусідньої Канади. Проте проведена федеральним урядом компанія легалізації культивування промислових посівів технічних конопель в країні вже призвели до того, що американські компанії стрімко диверсифікують виробництво і домовляються про постачання конопляної сировини з місцевими сільськогосподарськими виробниками. Саме тому цікавий факт підписання першого контракту на поставку конопляного волокна виробленого в США американської компанії, що спеціалізується на виробництві одягу.

У 2017 році технічні коноплі легально культивувалася в 31 штаті. У 2016 році площі посівів досягли позначки в 8 тисяч га, що на 144% більше, ніж в 2015. У звіті «Конопля як сільськогосподарський товар»

вказується, що ринок технічних конопель в 2015 році склав близько \$ 600 млн.

Вироби з конопляного волокна стають стійким трендом провідних текстильних компаній світу, оскільки такі великі бренди як Adidas, Quiksilver або Patagonia додали продукти з конопляного волокна в лінію свого асортименту, популярність виробів з конопляних тканин щорічно збільшується. На сьогодні існують десятки брендів (Woolrich, Cannabeings Designs, Hemp Authority, Hoodlamb, Nomads, Prana, Uprise Hemp і інші), що спеціалізуються виключно на одязі або аксесуарах з конопляного волокна [7].

Виробництво бавовняного волокна є надзвичайно трудомістким, а тканини з похідних нафтопереробки (акрил, поліефір, нейлон, спандекс) не є екологічно безпечними, а також безпечними людському організму. Саме тому останнім часом провідними текстильними компаніями усього світу активно розглядаються можливі альтернативи для виробництва натуральних волокон і тканин.

Спробуємо сфокусувати увагу на стійких сировинних альтернативах і інноваціях в текстильній промисловості, які активно застосовуються провідними текстильними компаніями усього світу.

Конопляне волокно є одним з найбільш універсальних натуральних волокон, які використовуються в текстильній промисловості протягом декількох тисячоліть. Сучасні технології дозволяють застосовувати конопляне волокно для виробництва різних типів тканин. А саме, волокно, що виростає у сухому теплому кліматі використовується для виробництва технічних тканин або геотекстилю. У регіонах з більш прохолодним кліматом утворюються більш тонкі стебла, з яких виготовляють тканини або трикотаж. Крім усього іншого, коноплі є швидкозростаючою рослиною, культивування якої не передбачає застосування великої кількості води, в ході вирощування не обов'язково використання пестицидів, гербіцидів або інших хімічно небезпечних засобів, традиційно застосовуваних при вирощуванні бавовни. Необхідно відзначити, що урожай конопель в порівнянні з бавовною, в кінцевому рахунку, призводить до виробництва набагато більшої кількості сировини на гектар, в подальшому використовується для виробництва тканин або кручених виробів.

Конопляне волокно відрізняється своєю міцністю і еластичністю, а одяг, виготовлений з конопляної тканини, носить набагато довше, ніж бавовняний. Крім того вони володіють антибактеріальними та антисептичними властивостями. Також конопляна тканина формо- та кольоростійка, тому конопляний одяг зберігає ту ж форму і колір, що і початковий виріб, навіть після кількох десятків циклів прання. Як бонус для тих, хто займається культивуванням конопель, вона покращує стан ґрунту, на якому виростає, шляхом додавання в неї поживних речовин і запобігання ерозії [6].

Американські компанії активно використовують знання і великий досвід китайських фахівців в області виробництва і переробки конопляного волокна. За словами технолога однієї з американських текстильних компаній, було досліджено безліч різних отриманих волокон конопель, вирощених у всіх регіонах світу. Визначено, що саме китайське волокно конопель вигідно відрізняється від інших, з точки зору міцності, м'якості, довговічності. Саме в Китаї існують кілька десятків виробництв, які пропонують на міжнародному ринку конопляні вироби без токсичних хімічних речовин або важких металів [5].

Тому американські інвестори вкладали і далі продовжують розміщувати свої фінансові ресурси в виробничі потужності в Китаї, де виготовляється конопляна продукція, а продається в економічно розвинених країнах.

З огляду на той факт, що Китай має найдавніші традиції культивування конопель, які нараховують кілька тисячоліть, і також той факт, що країна ніколи не перешкоджала розвитку коноплярства в країні, необхідно прийняти за аксіому той факт, що на даний момент на його частку припадає понад 50% світового ринку культивування та переробки конопель. Він є володарем більше 600 з нині діючих міжнародних патентів на виробництво волокон і текстильної продукції з конопель. Крім Китаю, в значно менших масштабах конопляне волокно переробляють в Європі (Франція, Німеччина, Великобританія), Чилі, Північній Кореї.

Висновок

Слід вважати конопляне волокно як цінну вітчизняну сировину для текстильної, целюлозної, фармакологічної, косметичної, будівельної та інших видів промисловості, яку треба досліджувати.

В Україні можна виділити кілька перспективних напрямів виробництва продукції з конопель:

Текстильний напрям – традиційний у використанні коноплесировини для нашої країни. Це і текстильні вироби, і одяг, взуття тощо.

Целюлозна промисловість – це виготовлення із конопель широкого спектру паперу залежно від його призначення, а саме: високоякісного офісного паперу, картону, паперу для цигарок тощо.

В Америці, як і в Європі, існують обмеження на вирубку лісу. А коноплі є альтернативою деревині для виробництва целюлози і паперу, меблів, автомобільної та текстильної промисловості.

У будівництві продукція конопель може бути достатньо широко представлена як основа для створення фундаментних, стінових і покрівельних технологій: як утеплюючі та ізолюючі матеріали різного функціонального призначення; як наповнювачі для будівельних виробів тощо.

Властивості конопель дозволяють ефективно їх використовувати для звуко-, паро- та теплоізоляційних матеріалів, що створює особливий мікроклімат у приміщенні, пригнічуючи хвороботворні мікроорганізми, грибки та бактерії, водночас благотворно впливаючи на організм людини. Низька собівартість і можливість повної утилізації без шкоди для оточуючого середовища дають додаткові переваги матеріалам на основі конопель.

Харчовий напрям – виробництво олії та супутніх їй продуктів. Конопляне насіння й олія містять бактерицидні речовини, цінні ненасичені кислоти, гліцериди, амінокислоти, мікроелементи.

Олія конопель використовується і як консервант для харчових продуктів, і як самостійний продукт харчування в натуральному вигляді, є сировиною для виготовлення лаків, фарб, оліфи, лінолеуму, маргарину, мила дитячого й антиалергенного, медичних препаратів, азбестотехнічних виробів, гальмівних стрічок, накладок і дисків [10].

Література

1. Степанушко Л. Made in Ukraine: З головою у коноплі [Електронний ресурс] / Л. Степанушко // AgroPortal.ua. – 28 лютого, 2016. – Режим доступу : <http://agroportal.ua/special-projects/made-in-ukraine-s-golovo-v-konoplyu/>
2. Поліщук С.О. Сучасний стан і перспективи текстильної галузі України / С.О. Поліщук, О.П. Сумська // Тези доп. III Міжнародної науково-практ. конф. «Сучасний стан легкої і текстильної промисловості: інновації, ефективність, екологічність» (12–17 вересня 2017 р.). – Херсон : Вид-во ХНТУ, 2017. – С. 19–20.
3. Чермошенцева К.М. Розширення сировинної бази промислового комплексу України / К.М. Чермошенцева, Т.О. Кузьміна // Інноваційні напрями в селекції, технології вирощування та переробки технічних культур : матеріали наук.-практ. конф. молодих вчених (Глухів, 2–4 грудня 2009 р.). / ІЛК НААН України. – Суми : Вид-во СумДУ, 2010. – 114 с.
4. Пушкар Г.О. Проблеми формування асортименту товарів з коноплі / Г.О. Пушкар, Б.Д. Семак // Вісник ХНТУ. – 2014 – № 4. – С. 117–122.
5. Технічні коноплі [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://tku.org.ua>.
6. Ніколайчук Л.Г. Сучасний стан і перспективи використання конопляних волокон в Україні / Л.Г. Ніколайчук // Інновації в управлінні асортиментом, якістю та безпекою товарів і послуг : матеріали V-ї міжнародної наук.-практ. конф. (Львів, 07 грудня 2017 року) : тези доповідей / відп. ред. П.О. Куцик. – Львів : Видавництво «Растр-7», 2017. – С. 170–172.
7. Одяг з конопляної тканини [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://derevyna.com/odyag-z-konoplyanoyi-tkanini/>.
8. Ляліна Н.П. Розвиток наукових основ первинної переробки стебел ненаркотичних конопель для отримання волокон різного функціонального призначення : дис. ... доктора техн. наук / Ляліна Н.П. – Херсон, 2015. – 335 с.
9. Кабанець В. Ненаркотичні посівні коноплі - культура невичерпних можливостей / В. Кабанець, В. Вировець, І. Лайко // Агробізнес сьогодні. – 2012. – № 11 (234). – Режим доступу : <http://www.agro-business.com.ua/2010-06-11-12-53-00/1107-2012-06-20-13-16-40.html>.
10. Примаков О. Ненаркотичні коноплі: перспективи застосування / О. Примаков // Аграрний тиждень. Україна. – 18 листопада, 2013. – Режим доступу : <https://journals.ua/prof/agrarnyi-tyzhden-ukraina>.

References

1. Stepanushko L. Made in Ukraine: Z holovoiu u konopli [Elektronnyi resurs] / L. Stepanushko // AgroPortal.ua. – 28 liutoho, 2016. – Rezhym dostupu : <http://agroportal.ua/special-projects/made-in-ukraine-s-golovo-v-konoplyu/>
2. Polishchuk S.O. Suchasnyi stan i perspektivy tekstylnoi haluzi Ukrainy / S.O. Polishchuk, O.P. Sumska // Tezy dop. III Mizhnarodnoi naukovo-prakt. konf. «Suchasnyi stan lehkoї i tekstylnoi promyslovosti: innovatsii, efektyvnist, ekolohichnist» (12–17 veresnia 2017 r.). – Kherson : Vyd-vo KhNTU, 2017. – S. 19–20.
3. Chermoshentseva K.M. Rozshyrennia syrovynnoi bazy promyslovoho kompleksu Ukrainy / K.M. Chermoshentseva, T.O. Kuzmina // Innovatsiini napriamy v selektsii, tekhnolohii vyroshchuvannia ta pererobky tekhnichnykh kultur : materialy nauk.-prakt. konf. molodykh vchenykh (Hlukhiv, 2–4 hrudnia 2009 r.). / ILK NAAN Ukrainy. – Sumy : Vyd-vo SumDu, 2010. – 114 s.
4. Pushkar H.O. Problemy formuvannia asortymentu tovariv z konopli / H.O. Pushkar, B.D. Semak // Visnyk KhNTU. – 2014 – № 4. – S. 117–122.
5. Tekhnichni konopli [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://tku.org.ua>.
6. Nikolaichuk L.H. Suchasnyi stan i perspektivy vykorystannia konoplianykh volokon v Ukraini / L.H. Nikolaichuk // Innovatsii v upravlinni asortymentom, yakistiu ta bezpekoiu tovariv i posluh : materialy V-yi mizhnarodnoi nauk.-prakt. konf. (Lviv, 07 hrudnia 2017 roku) : tezy dopovidei / vidp. red. P.O. Kutsyk. – Lviv : Vydavnytstvo «Rastr-7», 2017. – S. 170–172.
7. Odiah z konoplianoi tkanyny [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://derevyna.com/odyag-z-konoplyanoyi-tkanini/>.
8. Lialina N.P. Rozvytok naukovykh osnov pervynnoi pererobky stebel nenarkotychnykh konopel dlia otrymannia volokon riznoho funktsionalnoho pryznachennia : dys. ... doktora tekhn. nauk / Lialina N.P. – Kherson, 2015. – 335 s.
9. Kabanets V. Nenarkotychni posivni konopli - kultura nevycherpnykh mozhlyvostei / V. Kabanets, V. Vyrovets, I. Laiko // Ahrobyznis sohodni. – 2012. – № 11 (234). – Rezhym dostupu : <http://www.agro-business.com.ua/2010-06-11-12-53-00/1107-2012-06-20-13-16-40.html>.
10. Prymakov O. Nenarkotychni konopli: perspektivy zastosuvannia / O. Prymakov // Ahrarnyi tyzhden. Ukraina. – 18 lystopada, 2013. – Rezhym dostupu : <https://journals.ua/prof/agrarnyi-tyzhden-ukraina>.

Рецензія/Peer review : 06.03.2018 р.

Надрукована/Printed : 11.05.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Пелик Л.В.

А.В. МИЩЕНКО, Е.А. ВЕНГЕР
Херсонский национальный технический университет
Д.С. КАЧУК
Николаевский национальный аграрный университет
И.О. КУЛИКОВА
Херсонский национальный технический университет

ВЛИЯНИЕ ИОННЫХ ГРУПП В ИОНСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ СВЯЗУЮЩИХ НА КАЧЕСТВО ПИГМЕНТНОЙ ПЕЧАТИ

В работе показано влияние специфичных свойств уретановых полимеров, приобретаемых ими в результате введения ионных групп в макроцепи полимеров, в частности, сульфо- и карбоксильных групп, на качество печати пигментными составами, в которых указанные полимеры используются в качестве связующих. Показано, что дисперсии карбоксилсодержащих полиуретанов обеспечивают более высокие показатели качества пигментной печати.

Ключевые слова: пигмент, печать, связующее полиуретан, ионная группа, окраска, устойчивость, интенсивность.

A.V. MISCHENKO, E.A. VENGER
Kherson National Technical University
D.S. KACHUK
Mykolayiv National Agrarian University
I.O. KULIKOVA
Kherson National Technical University

INFLUENCE OF IONIC GROUPS IN ION-CONTAINING POLYURETHANE BINDERS ON THE QUALITY OF THE PIGMENT PRINT

Establishment of the most effective aqueous dispersions of polyurethane ionomers for use as binders in pigmented printing compositions was the aim of the work. Sulfo- and carboxyl-containing polyurethanes were investigated in comparison with cationic-type and non-ionic polymers. The influence of ionic groups on the stability of the dyeing was evaluated in accordance with the current standards, and also on the intensity of the dyeing determined in accordance with the Gurevich-Kubelka-Munch function. It has been shown that sulfo-containing polyetherurethane provided less resistant colors than carboxyl-containing one which was especially manifested in the index of dyeing stability to wet treatments. The index of color stability to friction depends little on the ionic group of the polymer. It was concluded that the change in the index of intensity of a color with a change in temperature is determined by the peculiarity of the microphase nature of the urethane polymers' structure. The microphase separation, which is a consequence of the block copolymer nature of the structure of polyurethanes as well as the presence of regions with sharply differing flexibility and intensity of intermolecular interaction in macrochains, is characteristically for polyurethanes. When the temperature changes, these properties of the polymer change, which affects the intensity of the color. It has been found that the color intensity decreased with a decrease of the temperature of the films formation, while the influence of temperature was more pronounced on the formation of films of sulfo-containing polyetherurethane anionic dispersions. The conducted researches allowed to recommend the most effective type of ionomer for use as a binder.

Key words: pigment, printing, polyurethane binder, ionic group, dyeing, stability, intensity.

Постановка проблемы

Продукция полимерной химии широко используется для повышения комфортности и износостойкости текстильных изделий, формостойкости, придания специальных свойств, среди которых гидро- и олеофобность, огнестойкость, биостойкость и др. Многими свойствами из требуемых потребителем, текстильные материалы не обладают и приобретают их благодаря нанесению на поверхности текстильных материалов высокомолекулярных веществ с соответствующими свойствами. В связи с этим в химической технологии волокнистых материалов принято рассматривать заключительную отделку тканей как прикладную полимерную химию [1].

Однако в химической технологии волокнистых материалов имеется еще один технологический процесс, где высокомолекулярные соединения в значительной степени определяют качество текстильной продукции и ее художественно-колористического оформления – печатание пигментами.

Пигменты сродством к волокнообразующим полимерам не обладают как красители других классов и фиксируются на тканях с помощью полимерных пленок, формируемых специальными связующими – пленкообразующими веществами, наносимыми на поверхности текстильных материалов печатными составами вместе с пигментами.

Сегодня по пигментной технологии на тканях формируют также различные модные эффекты, которые достигаются исключительно с помощью высокомолекулярных соединений [2, 3].

Указанные технологии – печатание пигментами, формирование на тканях модных эффектов (печать металлопорошками под «золото», «серебро», «вишивку», перламутровая печать и др.) осуществляют печатными композициями, в которых определяющую роль играют водные дисперсии полимеров или латексы, используемые в роли связующих.

В настоящее время возможности технологий отделки тканей полимерами значительно расширены благодаря успехам в области синтеза водных дисперсий полиуретанов и полиуретановых иономеров,

которые могут быть применены и в качестве связующих.

В настоящее время существуют два типа уретановых латексов: латексы, полученные с применением эмульгаторов и латексы, не содержащие эмульгатор – латексы полиуретановых иономеров и полиуретанов, содержащих не ионные сильнополярные звенья [4]. Оба типа латексов получают диспергированием раствора или расплава полиуретана в водной среде. Полимеры латексов второго типа содержат привитые катионные или анионные группы, благодаря которым полимер приобретает катион- или анионактивный характер.

Полимерные дисперсии анионактивного типа, синтезированные украинскими учеными [4, 5], а также российскими [6, 7], могут представлять для отделки текстильных материалов значительный интерес [8]. Поскольку в литературе практически отсутствуют сведения об эффективности использования связующих указанного типа в печати пигментами, задачей настоящей работы было исследование влияния ионных групп в полиуретановых связующих на качество печати пигментами, с целью выбора наиболее эффективных для этой цели полиуретановых дисперсий.

Экспериментальная часть

Для выполнения экспериментальной части работы использовали полиуретаны с разными ионными группами в форме водных дисперсий. Полиуретаны в общем случае представляют собой блоксополимеры, макромолекулы которых состоят из «мягких» и «жестких» сегментов. «Мягкие» сегменты – длинные подвижные участки, например, полиэфирные цепи м. м. 1000÷3000 – чередуются с «жесткими» сегментами, роль которых выполняют диизоцианаты.

Свойства полиуретанов зависят от соотношения количеств и вида «мягких» и «жестких» сегментов [9].

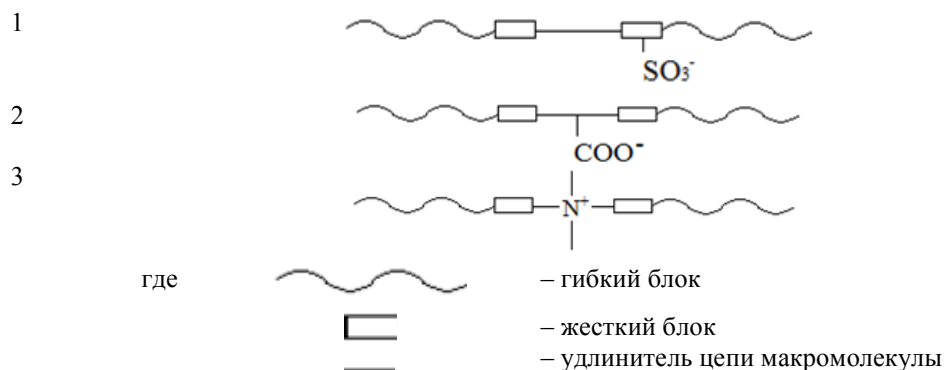
Во всех исследуемых полиуретанах соотношение «диизоцианат : полиоксиэтиленгликоль» 2:1.

Дисперсии, используемые в работе, обозначенные под номерами 1, 2 и 3, синтезированы опытными производствами ИХ ВМС НАН Украины (1) и НПО «Полимерсинтез», Россия (2, 3) и имеют разные ионные группы.

Полимер в дисперсии № 1 является анионактивным сульфосодержащим полиэфируретаном [4], в котором сульфогруппа нейтрализована триэтиламиноом и находится в жестком блоке цепи, а именно толуилендиизоцианате, т.е. в основной цепи полимера.

В дисперсии № 2 полиуретан является карбоксилсодержащим [6]. Карбоксильная группа находится также в ионизированной форме, для чего нейтрализована тем же основанием. Расположена ионная группа в удлинителе цепи.

Дисперсия 3 содержит полиуретан катионактивного типа – Латур 1052-3Ф (ТУ 6.05-2027-86) [7]. Катионактивный характер полимера придают третичные атомы азота в солевой форме, которые расположены в удлинителе цепи. Для получения полимеров использовано однотипное сырье: полиоксиэтиленгликоль м.м. 1000, толуилендиизоцианат (ТДИ), дифенилметандиизоцианат и удлинители цепи. Поскольку макромолекулы полиуретанов построены из «жестких» (диизоцианаты) и «гибких» (полиоксипропиленгликоль) блоков цепи полимеров можно представить следующим образом:



Поскольку основными показателями качества печати являются показатели устойчивости окрасок, напечатанной ткани и интенсивность окрасок, осуществляли оценку именно этих характеристик.

Оценку устойчивости окрасок к стирке осуществляли по ГОСТу 9733.4-83, к трению – по ГОСТу 9733.27-83.

Интенсивность окраски оценивали по функции Гуревича – Кубелки – Мунка K/S:

$$K / S = \frac{(1 - R)^2}{2R}, \quad (1)$$

где R – коэффициент отражения, %.

Измерение R осуществляли на спектрофотометре «Spekol – II» (Германия). Прозрачность полимерных пленок оценивали с помощью прибора ФЭК-56М.

Результаты и их обсуждение:

В таблице 1 приведены данные об устойчивости окрасок, сформированных с помощью самодиспергирующихся дисперсий сульфосодержащих и карбоксилсодержащих полиуретанов, в сравнении

с данными об устойчивости пигмента на ткани, закрепленного с помощью полимера, водная дисперсия которого стабилизируется за счет поверхностно-активного вещества.

Для получения данных табл. 1 образцы ткани печатали составами, содержащими (г/кг):
пигмент алый 2СТП – 20
связующее – 180
загустка из метилцеллюлозы (2,5-процентная) – 800
(или манутекса RS)

В составы не вводили «сшивающие» вещества, обычно это предконденсаты термореактивных смол, а также препараты, обеспечивающие их «работу».

После печати образцы сушили при температуре 80°C и подвергали термообработке при температуре 150°C в течении 3 минут, после чего испытывали на устойчивость окраски, а также оценивали их интенсивность.

Показатели устойчивости окрасок оказались ниже, чем можно было ожидать, учитывая энергию когезии атомных групп жесткого сегмента полиуретана.

Таблица 1

Влияние типа уретанового связующего на устойчивость окраски и интенсивность

№ дисп.	Способ стабилизации дисперсии	Свойства пленки		Степень растворимости пленки при кипячении в воде, %	Оптическая плотность пленки	Устойчивость окраски, баллы		Интенсивность окраски, K/S
		Разрывное напряжение, МПа	Относительное удлинение, %			стирка, 100°C	трение	
1.	-SO ₃ ⁻	8,9	820	9,0	0,18	3/3/4	4	5,69
2.	-COO ⁻	10,3	760	1,5	0,15	4/4/5	4-5	5,94
3.	⊥ N ⁺	11,0	890	1,6	0,13	4/5/5	4-5	6,20
4.	ПАВ	8,0	720	5,0	0,19	2/3/3	2-3	5,30

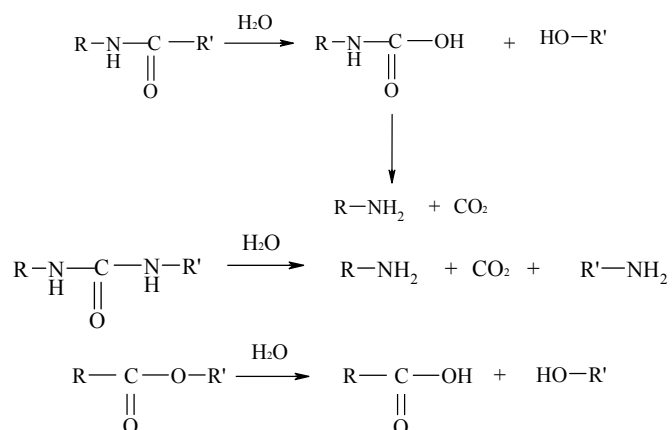
Наиболее высокие показатели имеют место при печати с применением катионактивного полиуретана, однако практический интерес могут представлять уретановые связующие анионактивного типа, поскольку менее чувствительны к компонентам печатной краски и более агрегативно устойчивы.

Из числа анионактивных уретановых связующих дисперсия с карбоксилсодержащим полиуретаном обеспечивает более высокие показатели качества печати, чем дисперсия с сульфосодержащим полимером.

Дисперсия, стабилизированная за счет добавок ПАВ, не обеспечивает без «сшивающих» добавок предконденсатов термореактивных смол необходимой устойчивости окрасок, несмотря на достаточно высокие значения таких показателей свойств пленок, таких как: разрывное напряжение при растяжении и относительное удлинение при разрыве, характеризующее влияние полимерной пленки на гриф ткани. Низкое значение имеет также показатель устойчивости окраски к трению, что можно объяснить влиянием ПАВ на процесс формирования пленки. Все ионосодержащие полиуретаны обеспечивают более высокую устойчивость к трению, причем значения этих показателей близкие по величине.

Более низкую устойчивость окраски к стирке при печати с дисперсией № 1 можно объяснить высоким показателем растворимости пленки сульфосодержащего полиуретана и недостаточной устойчивостью этого типа полимера к гидролизу.

Процесс гидролиза распространяется практически на три наиболее важные химические группировки: уретановые, карбамидные и сложноэфирные. Эти процессы представляются следующим образом [10]:



Как следует из приведенных выше схем гидролиза уретановых, карбамидных и сложноэфирных группировок, химические изменения, происходящие под действием влаги, сопровождаются разрывом главных валентных связей, а, следовательно, разрывом молекулярной цепи, в результате чего пленки из полиуретанов разрушаются.

Оценка устойчивости окраски к мокрым обработкам осуществлялась в жестких условиях: в щелочной среде, создаваемой добавками кальцинированной соды и ПАВ, при температуре 100°C. При наличии щелочного агента сопротивляемость полимеров гидролизу снижается.

Для сравнительной оценки устойчивости пленок исследуемых дисперсий различных типов к гидролизу изучалась зависимость изменения прочности пленок при разрыве σ_p после их обработки в условиях, соответствующих тем, в которых оценивается устойчивость окраски напечатанной ткани к стирке.

Приведенные на рис. 1 зависимости σ_p пленок из двух различных уретановых латексов от времени обработки в щелочном растворе согласуются с показателями устойчивости окрасок, полученных с помощью исследуемых двух дисперсий, а именно, результаты оценки прочности пленок показали, что большей устойчивостью к гидролизу обладают пленки на основе дисперсии № 2, т.е. из полимера с карбоксилсодержащей группой.

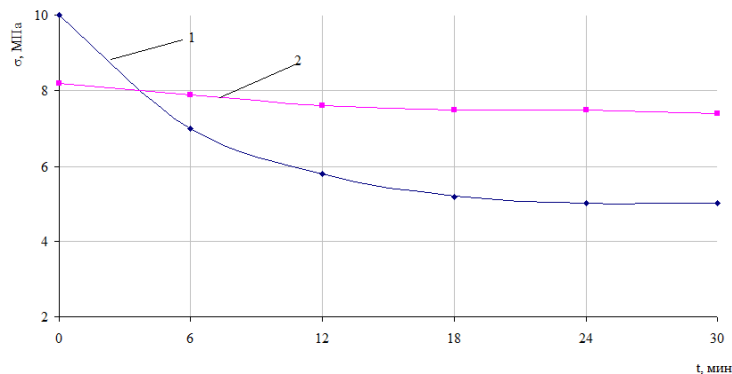


Рис. 1. Влияние мыльно-содовой обработки на прочность полиуретановых пленок:
1 – дисперсия № 1 (сульфосодержащий полимер),
2 – дисперсия № 2 (карбоксилсодержащий полимер)

Прочность пленки, полученной из дисперсии № 1, снижается примерно на 50%, в то время как пленки из дисперсии № 2 разрушились не более чем на 10%.

Общепринятым воззрением считается, что ароматические полиуретаны в большей степени подвержены гидролизу по сравнению с алифатическими. Сопротивляемость гидролизу у последних на несколько порядков выше. Автор [10] установил следующий ряд по уменьшению скорости протекания процесса гидролитического расщепления полиуретанов в зависимости от природы составляющих их молекулу диазоциантных фрагментов: толуилендиизоцианат > ксилитендиизоцианат > дициклогексилдиизоцианат > гексаметилендиизоцианат.

Приведенные литературные данные свидетельствуют о том, что наиболее низкая устойчивость к гидролизу должна наблюдаться у полиуретана на основе ТДИ. Дисперсия № 1, синтезирована на основе ТДИ, и по сравнению с дисперсией № 2, полученной с использованием дифенилметандиизоцианата, должна быть более подвержена гидролизу (полиольные цепи у полимеров одинаковые).

Таким образом, на основе анализа литературных данных о взаимосвязи между устойчивостью полимера к гидролизу и его химическим строением, а также результатов исследования свойств полимерных пленок на основе дисперсий № 1 и № 2 был сделан вывод о том, что причиной низкой устойчивости окрасок, полученных с помощью сульфированного полиэфируретана, является пониженная устойчивость к гидролизу полиуретанов на основе ТДИ. Тем не менее, полиуретановые связующие на основе ТДИ представляют для текстильного производства интерес вследствие большей доступности, и меньшей стоимости готового продукта. Более того, как показали дальнейшие исследования, если использовать способность макромолекул полиуретанов «сшиваться», при добавлении в печатные составы «сшивающих» агентов, в роли которых можно использовать соли металлов комплексообразующих и предконденсаты термореактивных смол, можно с помощью сульфосодержащего полиуретана получить окраску с маркировкой «особо прочное крашение», чего не достигают с другими типами связующих без ухудшения грифа напечатанной ткани.

Из таблицы 1 также видно, что образцы напечатанной ткани отличаются по интенсивности окраски. Наиболее яркие окраски формируются с помощью катионактивной дисперсии полиуретана, наименее яркие – при использовании в печатных составах анионактивной дисперсии полиуретана и дисперсии, стабилизированной с помощью поверхностно-активных веществ. В процессе выполнения эксперимента по сравнению и оценке окрасок по интенсивности было отмечено, что этот показатель нестабилен, т.е. в табл. 1 приведены данные по интенсивности окраски, отражающие сравнительную оценку окрасок, сформированных разными типами уретановых связующих. По интенсивности формируемых окрасок по мере снижения показателя уретановые связующие располагаются в следующий ряд: катионактивная дисперсия → дисперсия карбоксилсодержащего полимера → дисперсия сульфосодержащего полиуретана → дисперсия, стабилизированная с помощью ПАВ. Причем, окраски, близкие по интенсивности тем, которые получают с помощью акриловых связующих, формируются печатными составами на основе катионактивной

дисперсии и несколько менее близкие с применением дисперсии карбоксилсодержащего полиуретана.

Снижение интенсивности окрасок, сформированных с помощью сульфосодержащих полиуретанов, отмечалось также визуально.

Анализируя причины особенностей поведения полиуретанов, которые проявляются на показателе интенсивности окраски, мы пришли к выводу, что они обусловлены микрофазовой природой структуры уретановых полимеров. Известно, что для полиуретанов характерно микрофазовое разделение, которое является следствием блоксополимерного характера структуры и наличия в макроцепях участков с резко отличающимися гибкостью и интенсивностью межмолекулярного взаимодействия [11].

Для подтверждения сделанного предположения о влиянии микрофазового разделения полиуретана на интенсивность окраски, исследовали влияние температуры формирования пленок на их оптическую плотность, а также на интенсивность окраски. Исходили из того, что температура влияет на кинетическую подвижность участков цепей макромолекул и межмолекулярное взаимодействие, следовательно будет оказывать влияние на микрофазовую структуру полимера, а соответственно, на степень прозрачности пленки и интенсивность окраски. Поскольку на межмолекулярные взаимодействия активное влияние оказывают ионные группы макроцепей, наличие последних в полимере связующего проявляется на интенсивности окрасок.

Из данных, приведенных в табл. 2, видно что температура тепловой обработки ткани влияет на интенсивность окраски: со снижением температуры снижается интенсивность окраски.

Таблица 2

Влияние условий тепловой обработки ткани, напечатанной составами на основе полиуретановых иономеров, на качество печатания (пигмент алый 2СТП)

Условия обработки, °C/мин	Дисперсия и ее влияние на окраску					
	№ 1			№ 2		
	K/S	стирка, баллы	трение, баллы	K/S	стирка, баллы	трение, баллы
сушка 80 термообработка –	4,7	3/3	4	4,9	4/4	4-5
сушка 80 термообработка 120/5	4,8	3/3	4	4,8	4/4	4-5
сушка 80 термообработка 150/3	4,7	3/3	4	4,8	4/4	4-5
сушка – термообработка 120/5	5,1	3/4	4	5,5	4/5	4-5
сушка – термообработка 150/3	5,3	3/4	4	5,9	4/5	4-5

Интенсивность окраски измеряется функцией K/S, где S – степень рассеивания света, которая зависит от наличия микрофазовых неоднородностей структуры полимера и увеличивается с их увеличением.

Со снижением температуры величина K/S уменьшается во всех случаях, причем окраска, сформированная с применением сульфосодержащего полиуретана менее интенсивная. С повышением температуры тепловой обработки напечатанной ткани интенсивность окраски увеличиваются.

Полученные результаты проверены в условиях производства на галантерейной фабрике (г. Киев) (табл. 3). Печатали носовые платки пигментом зеленым фталоцианом ТП и алым 2СТП. Часть напечатанной продукции сушили на воздухе, а часть – при температуре 130° С.

Таблица 3

Влияние условий сушки ткани на интенсивность окраски

Пигмент	Интенсивность окраски (K/S) при сушке	
	на воздухе	при температуре 130° С, 4 мин
зеленый фталоциан ТП	4,5	5,9
алый 2СТП	2,8	4,3

Производственная проверка подтвердила выводы сделанные относительно влияния условий сушки на интенсивность окраски.

Таким образом, проведенные исследования позволили сделать рекомендации относительно температурного режима тепловой обработки ткани, напечатанной составами на основе уретановых связующих и выбрать связующие, в которых влияние температуры на интенсивность окраски проявляется в меньшей степени.

Выводы

1. Показано, что дисперсии сульфосодержащего полиэфируретана обеспечивают получение менее устойчивых окрасок, чем дисперсии карбоксилсодержащего полимера, что особенно проявляется на показателе устойчивости окраски к стиркам.

2. Показатель устойчивости окраски к трению мало зависит от типа ионной группы полимера связующего.

3. Показано, что вследствие способности блоков цепи макромолекул полиуретанов к микрофазовому разделению режим сушки напечатанной ткани оказывает влияние на интенсивность окраски. Снижение температуры сушки обуславливает усиление микрофазового разделения в структуре пленки и обуславливает снижение интенсивности окраски.

4. Отмечено, что вследствие того, что сульфогруппы обуславливают усиление степени микрофазового разделения гибких и жестких блоков полимера, применение сульфосодержащих полиуретанов характеризуется большей потерей интенсивности при снижении температуры сушки по сравнению с применением карбоксилсодержащего полиуретана. Результатом указанной особенности сульфосодержащего полиуретанового иономера являются менее интенсивные окраски по сравнению с эталоном.

Литература

1. Кричевский Г. Е. Особое место заключительной отделки в химической технологии текстильных материалов / Г. Е. Кричевский // Текстильная химия. – 2002. – № 1 (20). – С. 48.
2. Мищенко А. В. Физико-химические аспекты формирования на окрашенном текстильном материале модных эффектов непрозрачными полимерными пленками / А. В. Мищенко // Теорія і практика сучасного природознавства : матеріали конф. VI Всеукр. наук.-практ. конф., 27 жовт. 2017 р. – Херсон, 2017. – С. 26–29.
3. Петрова О. В. Новые направления в пигментной печати – модные эффекты / О. В. Петрова // Текстильная химия. – 2002. – № 1 (20). – С. 29–35.
4. Греков А. П. Полиуретановые латексы / А. П. Греков, А. Г. Яковенко // Физикохимия и модификация полимеров : [сб. науч. трудов]. – К. : Наукова думка, 1987. – С. 100–115.
5. Чумак Л. О. Сульфовмісні поліефіруретани та водні дисперсії на їх основі : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. хім. наук : спец. 02.00.06 “Хімія високомолекулярних сполук” / Л. О. Чумак. – К., 1995. – 20 с.
6. А. с. 1286604 СССР, МКИ³ D06P C08L 1/08. Способ получения полиуретановой дисперсии / В.М. Непышневский, Ф. Х. Самигуллин (СССР).
7. А. с. 788693 СССР, МКИ³ D06P C08L 1/08. Способ получения полиуретановой дисперсии / В.М. Непышневский, Ф. Х. Самигуллин, Р. Р. Сафин (СССР).
8. Мищенко А. В. Использование полиуретановых иономеров в пигментных печатных составах: преимущества и проблемы / А. В. Мищенко // Текстильная химия. – 1998. – № 2. – С. 75–80.
9. Лазурин Е. А. Достижения в области получения уретановых латексов / Е. А. Лазурин, В. Т. Самородов, Г. Н. Спиридонова. – М. : ЦНИИ ИТЭИ нефтехим, 1987. – (Серия “Промышленный синтез каучука”. – 67 с.
10. Maempel L. Wabrig PUR-Dispersionen / L. Maempel // Adhasion. – 1988. – Vol. 32. – No. 5. – P. 14–18.
11. Дорожкин В. П. Образование, структура и свойства сетчатых полиуретанов / В. П. Дорожкин, П.А. Кирпичников // Успехи химии. – 1989. – Т. LVIII, № 3. – С. 521–539.

References

1. Krichevskiy G. E. Osoboe mesto zaklyuchitel'noy otdelki v khimicheskoy tekhnologii tekstil'nykh materialov / G. E. Krichevskiy // Tekstil'naya khimiya. – 2002. – № 1 (20). – S. 48.
2. Mishchenko A. V. Fiziko-khimicheskie aspekty formirovaniya na okrashennom tekstil'nom materiale modnykh effektov neprozrachnyimi polimernymi plenkami / A. V. Mishchenko // Teoriya i praktika suchasnogo pryrodosnavstva : VI Vseukr. nauk.-prakt. konf., 27 zhovt. 2017 r. : materialy konf. – Kherson, 2017. – S. 26–29.
3. Petrova O. V. Novye napravleniya v pigmentnoy pechati – modnye efekty / O. V. Petrova // Tekstil'naya khimiya. – 2002. – № 1 (20). – S. 29–35.
4. Grekov A. P. Poliuretanovye lateksy / A. P. Grekov, A. G. Yakovenko // Fizikokhimiya i modifikatsiya polimerov : [sb. nauch. trudov]. – K. : Naukova dumka, 1987. – S. 100–115.
5. Chumak L. O. Sulfovmsni poliefiruretany ta vodni dispersii na yikh osnovi : avtoref. dis. na zdobuttia nauk. stupenia kand. khim. nauk : spets. 02.00.06 “Khimia vysokomolekuliarnykh spoluk” / L. O. Chumak. – K., 1995. – 20 s.
6. A. s. 1286604 SSSR, MKI³ D06R S08L 1/08. Sposob polucheniya poliuretanovoy dispersii / V.M. Nepyshnevskiy, F. H. Samigullin (SSSR).
7. A. s. 788693 SSSR, MKI³ D06R S08L 1/08. Sposob polucheniya poliuretanovoy dispersii / V.M. Nepyshnevskiy, F. H. Samigullin, R. R. Safin (SSSR).
8. Mishchenko A. V. Ispolzovanie poliuretanovykh ionomerov v pigmentnykh pechatnykh sostavakh: preimushhestva i problemy / A. V. Mishchenko // Tekstil'naya khimiya. – 1998. – № 2. – S. 75–80.
9. Lazurin E. A. Dostizheniya v oblasti polucheniya uretanovykh lateksov / E. A. Lazurin, V. T. Samorodov, G. N. Spiridonova. – M. : TSNIi ITEI neftekhim, 1987. – (Seriya “Promyshlennyy sintez kauchuka”. – 67 s.
10. Maempel L. Wabrig PUR-Dispersionen / L. Maempel // Adhasion. – 1988. – Vol. 32. – No. 5. – P. 14–18.
11. Dorozhkin V. P. Obrazovanie, struktura i svoystva setchatykh poliuretanov / V. P. Dorozhkin, P.A. Kirpichnikov // Uspekhi khimii. – 1989. – T. LVIII, № 3. – S. 521–539.

Рецензія/Peer review : 26.03.2018 р.

Надрукована/Printed : 21.05.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Чурсіна Л.А.

РОЗРОБКА СКЛАДУ КОСМЕТИЧНОГО КРЕМУ ANTI-AGE СПРЯМУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МУЦИНА РАВЛИКА

В статті розглянуто розробку косметичного емульсійного крему anti-age спрямування на основі природних інгредієнтів, таких як муцин равлика та рослинні олії. В результаті проведеної роботи встановлено оптимальну швидкість перемішування жирової та водневої фаз. Проведені дослідження показали, що всі зразки косметичного продукту мають термічну та колоїдну стабільність і можуть використовуватись як косметичний засіб anti-age спрямування.

Ключові слова: муцин равлика, емульсійний косметичний продукт, емульгатор, органолептичні та сенсорні характеристики.

V.G. YEFIMOVA, T.M. PILIPENKO

National Technical University of Ukraine Igor Sikorsky Polytechnic Institute

DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION OF ANTI-AGE COSMETIC CREAM WITH THE USE APPLICATION OF SNAIL SLIME

This work is relates to the development of the composition of the cosmetic emulsion product on the basis of natural ingredients such as shisha oil, jojoba and cocoa and the active substance of the snail slime. It is known that snail slime is a natural source that allows the skin to produce natural active ingredients, to participate in the synthesis of collagen and elastin, contributes to the healing and regeneration of the skin. For today there is no substantiated scientific approach when developing the composition of the emulsion cosmetic cream with snail slime. Thus, the development of the formulation of cosmetic creams using snail slime, which slows skin aging and restores the ability of collagen and elastin to stretch and compress, is an important trend in the field of creating new cosmetic products. The purpose of the study is to develop the composition of cosmetic emulsion cream based on natural ingredients such as snail slime, the development of its regimens and the study of organoleptic and emulsion properties. The criteria and indicators for the quality of the cosmetic cream were: organoleptic and sensory properties, thermal and colloidal stability, pH and droplets of the fatty phase, distributed in the cosmetic cream. As a result of this work, the mode of obtaining a cosmetic product has been worked out and the organoleptic and emulsion characteristics have been studied. The cosmetic product was prepared by the hot / hot method. It is established that the most optimal mixing speed of the emulsifying phases is 400 min⁻¹. Lower turns lead to an emulsion with a wide interval of the size of the parts of the dispersion phase, which respectively affects the quality of the cosmetic cream and its consistency. Samples of emulsion cream obtained on a natural fat basis have high colloidal and thermal stability. When stored for 60 days, the hydrogen index is almost unchanged. Use in the formulation of the cosmetic snail slime, in the amount of 0,3% does not reduce its emulsion properties.

Keywords: snail slime, emulsion cosmetic product, emulsifier, organoleptic and sensory characteristics.

Вступ

Закономірний природний процес старіння зачіпає всі органи і тканини людського організму. Навіть у практично здорової людини до тридцяти років його вік видає шкіра обличчя, тому що саме вона найбільш схильна до впливу несприятливих природних факторів. З віком сповільнюється процес синтезу «будівельного матеріалу» (колагену, еластичних волокон), за рахунок якого підтримується молодість і природна зволоженість шкіри. Це робить шкіру обличчя вразливою і призводить до утворення перших зморшок – з'являються «гусячі лапки» в куточках очей, позовжні зморшки на лобі. Стан навколишнього повітря, води, шкідливі викиди в атмосферу, інші чинники сучасного життя провокують в'янення шкіри. Проблема раннього виникнення зморшок на сьогоднішній день стоїть досить гостро, змушуючи приділяти їй увагу навіть зовсім молоденьких дівчат.

Зморшки утворюються в результаті скорочення мімічних м'язів обличчя. При цьому шкіра обличчя піддається скороченню і розтягуванню. Згодом вона втрачає здатність повертатися в первісний стан. Відомо, що волокна колагену і еластину, що входять до складу нашої шкіри, формують щільну сітку, яка обумовлює пружність шкіри. Згодом синтез білків зупиняється, волокна не оновлюються і утворюються зморшки. Таким чином, поява зморшок обумовлено зниженням або втратою колагеном і еластином своїх деформаційних пружних властивостей.

Одним з шляхів вирішення проблеми появи зморшок та складок на шкірі є вплив на неї такими препаратами, які сприяють відновленню деформаційно-пружних властивостей колагену та еластину.

На теперішній час існує декілька підходів до відновлення шкіри, що старіє. Перший полягає в застосуванні ботулотоксина, що являє собою нейротоксин типу А, який з'являється в ході життєдіяльності бактерій *Clostridium botulinum*. Препарати на цій основі є ослабленим ботулінічним токсином. Ботулін подає імпульси, що надходять від нерва до лицевого м'яза, який сприяє утворенню зморшок. При цьому недоліком цієї процедури є те, що ботокс не усуває зморшок, а лише на деякий час не дає м'язам скорочуватися. Отже ботокс розгладжує лише мімічні зморшки, а з зневодненням шкіри і моделюванням контуру обличчя він не справляється. При цьому може спостерігатися алергічна реакція організму.

Іншим способом відновлення шкіри, що старіє є застосування муцину равликів. Складовими компонентами якого є колаген та еластин, які подібні до людського. При цьому муцин равлика має спроможність стимулювати активність клітин, що відповідають за формування колагену, еластину та гіалуронової кислоти. Клінічно доведено, що застосування засобів з муцином равлика покращує зовнішній

вигляд, гладкість та пружність шкіри, зменшує кількість зморшок на 29%, а їх глибину на 16%. При цьому його застосування не викликає ніякої побічної дії. Муцин равлика добре розчинний у воді та зберігається за кімнатної температури, що обумовлює його легке застосування.

Постановка завдання

Таким чином, розробка рецептур косметичних кремів з використанням муцину равлика, що уповільнює старіння шкіри та відновлює спроможність колагену та еластину до стискання, являється актуальним напрямком дослідження в області створення нових косметичних препаратів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Науковці протягом багатьох років працюють над створенням косметичної продукції anti-age спрямування з використанням натуральних компонентів природного походження [1–3]. В 2010 році в Азії почався так званий «бум равликів». В моду увійшли косметичні засоби на основі слизу равлика. Новинка виявилась ефективним засобом, що омолоджувала та регенерувала шкіру.

За даними робіт [4] муцин равлика є природним джерелом, що дозволяє шкірі виробляти натуральні активні речовини, брати участь у синтезі колагену та еластину, сприяє загоюванню та регенерації шкіри. В дослідженнях [5–7] показана спроможність муцину равлика прискорювати регенерацію шкіри при захворюванні гострим дерматитом, а також чинить антибактеріальну дію.

Але на сьогоднішній день немає обґрунтованого наукового підходу при розробці складу емульсійного косметичного крему з муцином равлика. Таким чином, розробка рецептури косметичних кремів з використанням муцину равлика, що уповільнює старіння шкіри та відновлює спроможність колагену та еластину до розтягування та стискання є актуальним напрямком дослідження у галузі створення нових косметичних продуктів.

Мета і завдання дослідження

Метою дослідження є розробка складу косметичного емульсійного крему на основі природних інгредієнтів таких як муцин равлика, відпрацювання режимів його отримання та дослідження органолептичних та емульсійних властивостей.

Виклад основного матеріалу

При розробці складу косметичного крему використовували наступні натуральні компоненти.

Жирова фаза. Олія ши в своєму хімічному складі має жири, що не омилилися (близько 17%) і тригліцериди (близько 80%). Частина, що не омилилася представлена карістеролами і вуглеводами. Жирнокислотний склад представлений: олеїною (40–55%), стеариною (35–45%), лінолевою (3–8%), пальмітиною (до 3%), миристиною, арахіною і лінолевою кислотами. Основні властивості масла ши в косметичній продукції – це пом'якшувальні і захисні функції. Карістероли, що входять до складу масла, мають регенеруючі властивості, здатними активізувати синтез колагену. Жирні кислоти, присутні в маслі, надають захисну дію, а саме оберігають її від зневоднення і висихання.

Масло жожоба містить комплекс різних жирних кислот таких як гадолеїнова (65–80%), ерукова (10–22%), олеїнова (5–15%), нервонова (3,5%), пальмітинова (максимум 3%), пальмітолеїнова і бегенова (до 1%). Хімічний склад цього масла також включає амінокислоти, вітамін Е, колаген, ефіри жирних кислот. Цей продукт є ідеальним засобом для догляду за шкірою. Маслу жожоба властива тонка текстура, висока проникаюча здатність, а також зволожуюча, регенеруюча, протизапальна і пом'якшувальна дія. При нанесенні його на шкіру воно повноцінно вбирається і зовсім не залишає жирних слідів. Масло жожоба рекомендують для повсякденного догляду за шкірою. Його регулярне використання сприяє регенерації в'ялої і втомленої шкіри, а також усуненню зморшок.

Хімічний склад масла какао представлений олеїною (до 43%), стеариною (до 43%), лауриною та пальмітиною (до 25%) кислотами, а також вітаміном Е. Рекомендується для догляду за сухою, та збездвоженою шкірою, легко вбирається, не залишає жирного блиску, розгладжує та регенерує шкіру, надаючи їй матову ніжність.

Емульгатори. Олівем-1000 неіонний рослинний емульгатор нового покоління створений італійськими косметичними компаніями з оливкового масла, являє собою комплекс жирних кислот, хімічно аналогічний ліпідному складу шкіри. Ця унікальна структура наділена особливістю відновлення і підтримки цілісності шкірного бар'єру. Використання цього емульгатора дозволяє отримувати легкі емульсії, що легко вбираються. Переваги цього емульгатора – природне походження, хімічна сумісність, фізіологічна спорідненість зі шкірою, здатність створювати рідкокристалічні емульсії.

Емульгатор «НатурМулс» створений на основі солі молочної кислоти виробництва США має зволожуючі властивості. Густі текстури на цьому емульгаторі мають пом'якшувальну і зволожуючу здатність. Молочна кислота в складі емульгатора за рахунок комплексу спеціальних молекул підтримує оптимальний рівень зволоженості шкіри і перешкоджає її втраті. Цей емульгатор поєднує в собі догляд, харчування та зволоження: шкіра розгладжується і набуває здорового сяйва.

Допоміжна речовина. Природний віск троянди виробництва Індії є природним структуроутворювачем та компонентом, що втримує вологу в шкірі, має м'яку бактерицидну дію та некомедонний регулятор в'язкості косметичних кремів.

Водна фаза представлена гідралатом троянди виробництва України. Має омолоджуючу та регенеруючу дію, підвищує еластичність та пружність шкіри.

Консервант SynerCide Asian Fusion виробництва Франції. Створений на базі потужних

бактерицидних рослин (васабі, імбир, часник), дія яких посилена зволожуючими властивостями гексиленгліколя. Таке унікальне поєднання не тільки зберігає формулу косметики, але і допомагає шкірі утримувати вологу. Даний консервант активний проти грам позитивних та грам негативних бактерій. Працює проти цвілі і дріжджів, забезпечуючи натуральне консервування косметики. При цьому слід зазначити, що тріо рослинних екстрактів має яскраво виражену властивість посилювати мікроциркуляцію крові, що корисно для відновлення тонуусу шкіри в зрілому віці.

Активна речовина представлена муцином равлика виробництва Китаю. Він містить 60% сухого протеїну, в складі якого присутні гліколева кислота, вітаміни А, Е та С, натуральний колаген та еластин. До його косметичних властивостей можна віднести регенеруючу та пом'якшувальну дію, омолодження та підтягування.

Рецептура косметичного крему наведена у табл. 1.

На першому етапі досліджень визначалася колоїдна та термічна стабільність косметичного крему.

Відпрацювання режимів отримання емульсійного крему здійснювали з використанням механічного пристрою, що перемішує IKA RW 20n.

Методика отримання крему полягала в наступному: окремо зважувались компоненти жирової та водневої фаз, далі вони нагрівалися на водяній бані до 75 °С. При досягненні заданої температури до масляної фази додавали водянну й емульгували за допомогою пристрою, що перемішує IKA RW 20n до отримання однорідної маси. Частота обертання елемента, що перемішує становила від 100 до 500 хв⁻¹. Далі отриману емульсію охолоджували до 30 °С, додавали муцин равлика та перемішували ще протягом 5 хвилин. Таким чином було приготовано п'ять зразків косметичного засобу при різній частоті обертання пристрою. Загальна тривалість процесу становила 30 хвилин. Фізико-хімічні дослідження проводили через 24 год після повного охолодження та структуривання системи.

Таблиця 1

Склад косметичного крему	
Найменування інгредієнту	Склад, %
Жирова фаза	
<u>Олії:</u>	
Ши	5
Жожоба	10
Какао	5
<u>Допоміжна речовина:</u>	
Віск троянди	2,7
<u>Емульгатори:</u>	
Олівем -1000	3
НатурМульс	4
Водна фаза	
Гідролат троянди	67,8
SynerCide Asian Fusion (консервант)	2
Активна речовина	
Муцин равлика	0,3

Критеріями та показниками якості при розробці косметичного крему були: органолептичні та сенсорні властивості, термічна та колоїдна стабільність, значення рН та розмір краплин жирової фази, що розподілена у косметичному кремі [8].

Зовнішній вигляд та однорідність продукту, що був отриманий визначали таким чином. Приготовані зразки косметичного крему поміщували у прозорий флакон, далі його перевертали 2-3 рази та розглядали в прохідному денному світлі. В результаті досліджень встановлено, що всі зразки мали однорідну структуру, таблиця 2.

Таблиця 2

Умови отримання косметичного крему та його властивості					
№ зразка	Швидкість перемішування, хв ⁻¹	Колоїдна стабільність	Термічна стабільність	рН свіжого засобу та через 60 діб	Розмір частин жирової фази
1	100	+	+	6,24/6,48	1-3
2	200	+	+	6,41/6,47	1-2
3	300	+	+	6,33/6,51	1-3
4	400	+	+	6,34/6,46	2-3
5	500	+	+	6,35/6,54	1-4

Визначення колоїдної стабільності проводили центрифугуванням протягом 5 хв при частоті обертів

1000 с⁻¹. Термостабільність визначали в умовах термостату (ТС-80М-2) за температури 42,5±2,5°C протягом 7 діб, таблиця 2. Всі зразки крему, що були приготовані з різною частотою обертання пристрою, що перемішує, мали задовільну колоїдну та термічну стабільність.

Визначення водневого показника відбувалося потенціометричним методом у 10% водному розчині крему, що був тільки приготований та через 60 діб після його зберігання за кімнатної температури рН метром Adwa AD-100, таблиця 2.

Розмір краплин жирової фази, що була розподілена у косметичному кремі визначали за допомогою мікроскопа Optika M-100FLED з фотонасадкою при 600 кратному збільшенні. При цьому всі зразки кремів перед мікроскопічним дослідженням розводилися дистильованою водою в 100 разів, таблиця 2.

На наш погляд оптимальне значення швидкості перемішування становить 400 хв⁻¹. При цьому відсутнє захоплення повітря у емульсійну фазу та косметичний крем, що був отриманий має високу однорідність частин дисперсійної фази.

Висновки

Встановлено, що найбільш оптимальна швидкість перемішування фаз, що емульгують становить 400 хв⁻¹. Більш низькі обороти призводять до отримання емульсії з широким інтервалом розміром частин дисперсійної фази, що відповідно впливає на якість косметичного крему та його консистенцію. Зразки емульсійного крему, що отримані на натуральній жировій основі мають високу колоїдну та термічну стабільність. При зберіганні протягом 60 діб водневий показник майже не змінює свої значень. Використання в рецептурі косметичного засобу муцину равлика, у кількості 0,3% не знижує його емульсійні властивості.

Література

1. Fonseca-Santos B. Sustainability, natural and organic cosmetics: consumer, products, efficacy, toxicological and regulatory considerations / B. Fonseca-Santos, M. Antonio Corrêa, M. Chorilli // *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*. – 2015. – vol. 51, № 1. – P. 17–27.
2. Ruiz M.A. Preparation and stability of cosmetic formulations with an anti-aging peptid / M.A. Ruiz, B. Clares, M.E. Morales, S. Cazalla // *Journal of Cosmetic Science*. – 2007. – vol. 58, № 1. – P. 157–171.
3. Sharma B. Future prospect of nanotechnology in development of anti-ageing formulations / B. Sharma, A. Sharma // *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. – 2012. – vol. 4, № 3. – P. 57–66.
4. Harti A. The Effectiveness of Snail Slime and Chitosan in Wound Healing / A. Harti, S. Sulisetyawati, A. Murharyati, M. Oktariani // *International Journal of Pharma Medicine and Biological Sciences*. – 2016. – vol. 5, № 1. – p. 76–80.
5. Perez W. Effect of mucus snail (*Achatina fulica*) against total cells fibroblasts on incision wound healing skin of mice (*Mus musculus*) / W. P. Perez, F. Dina, Y. Iwang // *Journal of Veterinary Medical Science and Health*. – 2012. – vol. 4, № 2. – p. 195–203.
6. Berniyanti. T Protein characterization of snail mucin (*Achasin*) local isolate as an antibacterial factor / T. Berniyanti, S. Suwarno // *Veterinary Medicine Journal*. – 2007. – vol. 23, № 3. p. 139–144.
7. Sulisetyowati S. The comparative effectiveness slime snail (*Achatina fulica*) with chitosan against wound healing / S. Sulisetyowati, M. Oktariani // *International Journal of Pharma Medicine and Biological Sciences*. – 2015. – vol. 5, № 2. – p. 137–141.
8. Кутц Г. Косметические кремы и эмульсии. Состав, методы получения и испытаний / Г. Кутц ; пер. с нем. А.С. Филиппова. – М. : Косметика и медицина, 2004. – 272 с.

References

1. B. Fonseca-Santos, M. Antonio Corrêa, M. Chorilli Sustainability, natural and organic cosmetics: consumer, products, efficacy, toxicological and regulatory considerations, *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2015, vol. 51, № 1, pp. 17-27.
2. M.A.Ruiz, B. Clares, M.E. Morales, S. Cazalla Preparation and stability of cosmetic formulations with an anti-aging peptid, *Journal of Cosmetic Science*, 2007, vol. 58, № 1, pp. 157-171.
3. B. Sharma, A. Sharma Future prospect of nanotechnology in development of anti-ageing formulations *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2012, vol. 4, № 3, pp. 57-66.
4. Harti, S. Sulisetyawati, A. Murharyati, M. Oktariani The Effectiveness of Snail Slime and Chitosan in Wound Healing, *International Journal of Pharma Medicine and Biological Sciences*, 2016, vol. 5, № 1, pp. 76-80.
5. W. P. Perez, F. Dina, Y. Iwang Effect of mucus snail (*Achatina fulica*) against total cells fibroblasts on incision wound healing skin of mice (*Mus musculus*), *Journal of Veterinary Medical Science and Health*, 2012, vol. 4, № 2, pp. 195-203.
6. T. Berniyanti, S. Suwarno Protein characterization of snail mucin (*Achasin*) local isolate as an antibacterial factor, *Veterinary Medicine Journal*, 2007, vol. 23, № 3, pp. 139-144.
7. Sulisetyowati S., Oktariani M. The comparative effectiveness slime snail (*Achatina fulica*) with chitosan against wound healing, *International Journal of Pharma Medicine and Biological Sciences*, 2015, vol. 5, № 2, pp. 137-141.
8. Kutts G. Kosmeticheskie kremy i emulsii. Sostav, metody polucheniya i ispyitaniy, M.: Kosmetika i meditsina, 2004. – 272 s.

Рецензія/Peer review : 17.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 14.05.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Чигиринець О.Е.

УДК 004.491.42

О.С. САВЕНКО

Хмельницький національний університет

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ШКІДЛИВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ЛОКАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ АЛГЕБРАЇЧНИХ СИСТЕМ

В роботі проаналізовано відомі моделі шкідливого програмного забезпечення. Їх використання дозволило вирішити оцінку складності обчислювального процесу при визначенні віднесення програм до множини шкідливого програмного забезпечення. Вони надають формальне представлення означення комп'ютерних вірусів. Але не в повній мірі охоплюють все шкідливе програмне забезпечення. Тому не можуть бути основою для практичної інтерпретації всього шкідливого програмного забезпечення з метою його представлення для підвищення достовірності ідентифікації. В зв'язку з цим було розроблено алгебраїчні системи алгебри та моделі для формалізованого подання властивостей шкідливого програмного забезпечення, які дозволили створити його удосконалену модель в локальних мережах. Вона, на відміну від класичної моделі Коена, деталізована до рівнів властивостей і дозволяє здійснити представлення шкідливого програмного забезпечення через механізми його поширення в плоскій моделі пам'яті. Її особливістю є розгляд паралельних середовищ поширення в пам'яті різних комп'ютерних систем в локальній мережі. Це надало змогу формалізовано представити шкідливе програмне забезпечення в локальних комп'ютерних мережах з метою його ідентифікації згідно характеристичних властивостей. Місцем можливого розміщення шкідливого програмного забезпечення в комп'ютерних системах локальних комп'ютерних мереж розглядалися внутрішня пам'ять, зовнішня пам'ять та мережні пакети. Таке виділення трьох основних складових необхідно для побудови моделей шкідливого програмного забезпечення стало основою для охоплення всіх його різновидів. Було виділено характеристичні властивості шкідливого програмного забезпечення пов'язані з системними викликами, які відносяться до роботи з файлами, оперативною пам'яттю та командами роботи в мережі: створення, відкриття, закриття, видалення, читання, записування, додавання, знаходження, отримання атрибутів і встановлення атрибутів, команди доступу до оперативного запам'ятовуючого пристрою, команди для роботи в мережі. Сукупність розроблених алгебр є основою для системного розподілу інформації про характерні особливості шкідливого програмного забезпечення в процесі свого життєвого циклу. Використання таких характеристик дозволить здійснювати виявлення шкідливого програмного забезпечення шляхом аналізу особливостей, які проявлятимуться при виконанні функцій.

Ключові слова: алгебраїчна структура, алгебра, модель, шкідливе програмне забезпечення, локальна комп'ютерна мережа.

O.S. SAVENKO

Khmelnytsky National University

FORMALIZING MALICIOUS SOFTWARE IN LOCAL COMPUTER NETWORKS TO BASIS OF ALGEBRAIC SYSTEMS

Familiar models of malicious software are analyzed in the work. Their use made it possible to decide the assessment of the complexity of the computing process in determining the assignment of programs to the set of malicious software. They provide a formal representation of the definition of computer viruses. But not fully cover all malware. Therefore, they can not be the basis for the practical interpretation of all malware in order to present it to enhance the authenticity of the identification. In this connection, algebraic systems of algebra and models for the formal representation of the properties of malicious software were developed, which allowed to create its advanced model in local networks. She, unlike the classic Cohen model, is detailed to the levels of properties and allows the representation of malicious software through the mechanisms of its distribution in a flat memory model. Its feature is the consideration of parallel environments in the memory of various computer systems on the local network. This allowed for the formalization of malicious software in local computer networks in order to identify it according to the characteristic properties. The place of possible placement of malicious software in computer systems of local computer networks considered internal memory, external memory and network packets. Such an allocation of the three major components necessary for the construction of malware models has become the basis for the coverage of all its varieties. Characteristics of malicious software related to system calls that are related to working with files, RAM and commands in the network were identified: creation, opening, closing, deleting, reading, writing, adding, finding, receiving attributes and setting attributes, access commands to the operating memory, commands for working on the network. The set of developed algebras is the basis for the systematic distribution of information about the peculiarities of malware in the process of its life cycle. Using such features will allow detection of malicious software by analyzing the features that will occur when performing functions.

Keywords: algebraic systems, algebra, model, malicious software, local computer network.

Вступ. Постановка задачі. Поширення шкідливого програмного забезпечення (ШПЗ) в інформаційних системах комп'ютерних мереж створює проблеми користувачам. Наявні засоби його виявлення на сьогодні не задовільняють потреб користувачів. Особливо це стосується задач по виявленню ШПЗ на випередження, на етапі його початкового поширення. Як правило, виявлення ШПЗ відбувається вже після того, коли воно поширювалось на протязі певного часу і виконувало деструктивні дії. Відомі різноманітні антивірусні засоби, які здійснюють виявлення ШПЗ на різних етапах його життєвого циклу, не забезпечують високої достовірності його виявлення. Сучасне ШПЗ побудоване, як складні багатофункційні програмні системи та комплекси з використанням ефективних методів створення програмних засобів та

методів поширення зловмисного коду. Для організації ефективної протидії таким засобам, необхідним є подальший розвиток теорії та практики створення систем виявлення ШПЗ. Окремим напрямком, який потребує дослідження та вирішення, є представлення об'єктів ШПЗ такими формальними структурами, що дозволили б підвищувати достовірність ідентифікації ШПЗ. Крім того, на сьогодні недостатньо описано та формалізовано ШПЗ, як об'єкти для ідентифікації, а також як певну загальноприйнятну формалізовану систему, яка була б основою для подальшого розвитку.

Досліджуватимемо здійснення функціонування шкідливого програмного забезпечення в розподілених обчислювальних системах комп'ютерних мереж. Для розробки нових моделей та методів виявлення шкідливого програмного забезпечення необхідним є формалізація безпосередньо шкідливого програмного забезпечення, інших програмних об'єктів, а також апаратних засобів комп'ютерних систем та мереж, як єдиного інформаційного простору.

Інформаційний простір містить такі основні компоненти: інформаційні ресурси, засоби інформаційної взаємодії, інформаційну інфраструктуру. Іншими словами, необхідно формалізувати компоненти інформаційного простору з метою представлення шкідливого програмного забезпечення і середовища їх функціонування для подальшої побудови моделей шкідливого програмного забезпечення і розробки методів та засобів їх виявлення.

Інформаційна інфраструктура включає програмно-технічні засоби комп'ютерних мереж, які забезпечують організацію взаємодії інформаційних потоків, функціонування та розвиток засобів інформаційної взаємодії та інформаційного простору організації. В якості середовища функціонування шкідливого програмного забезпечення і його виявлення розглядатимемо корпоративну мережу, яка складається з групи локальних мереж організації. Середовищем перебування шкідливого програмного забезпечення в корпоративній мережі будуть засоби пам'яті та процесори. Тому, необхідно при формалізації інформаційного простору враховувати ці апаратні засоби. Корпоративна мережа є частиною відкритого інформаційного простору і, як правило, є частиною Internet простору. Шкідливе програмне забезпечення може функціонувати і поширюватись в одній комп'ютерній системі, при розширенні обчислювальних ресурсів до локальної комп'ютерної мережі – в комп'ютерних системах локальної мережі і при розширенні обчислювальних ресурсів до глобальних комп'ютерних мереж – в комп'ютерних системах глобальних мереж. Таким чином, інформаційних простір, в якому може функціонувати ШПЗ має підпростори на рівні корпоративних мереж та на рівні окремих комп'ютерних систем, де зберігаються ті ж можливості для розвитку і поширення ШПЗ, які є на рівні глобальної мережі. Враховуючи можливість порівняння результатів функціонування на поширення ШПЗ в різних комп'ютерних системах в локальній мережі на відміну від розгляду тільки однієї комп'ютерної системи, тоді найменшим підпростором будемо вважати корпоративну мережу і результати отримані в ній можна поширити на фрагменти всього простору тобто глобальної мережі, розглядаючи її як складену з локальних мереж.

Пов'язані роботи. Можливість створення самовідтворюваних автоматів представлено в роботі [1] Д. фон Нейманом. Подані формалізації будувались на представленні програм як кінцевих автоматів. Враховуючи сьогодиніший розвиток інформаційних технологій та комп'ютерних засобів такі представлення не можуть бути використані з метою формалізації ШПЗ, бо відносяться до рівня абстракції, який знаходиться найближче до апаратних засобів, і не враховує таких особливостей абстрагування, як моделі поведінки ШПЗ. Крім того, врахування представлення через кінцеві автомати суттєво збільшує обчислювальну складність алгоритмів ідентифікації ШПЗ.

Перше означення та модель комп'ютерного вірусу представив Фред Коен. Зокрема в [2, 3] на основі машини Тюрінга були описані множини комп'ютерних вірусних програм. Основою поданої Коеном моделі є можливість поширення вірусного коду в плоскій моделі пам'яті. При такому переміщенні отримуються нові елементи, які здатні знову поширювати себе. Розроблена модель не враховує конструкційних особливостей комп'ютерних систем і зокрема їх розміщення в мережах.

Модель Л.Адлемана, яка представлена в [4] базується на нумеруванні символів та призначенні їм Геделевого номеру, за яким шляхом певних обчислень можна було б встановити приналежність програми до множини ШПЗ. Розроблена ним модель була використана для встановлення можливості спроможності розрізнити комп'ютерних вірус та корисну програму і для оцінки обчислювальної складності цього процесу. Результати отримані Л. Адлеманом дають негативну відповідь на можливість вирішення цієї проблеми. Запропонована ним модель не може бути використана для опису всього ШПЗ, яке наявне на сьогодні.

В роботах [5, 6] Ж. Бонфана, М. Качмарека і Ж.-І. Маріона запропонована модель визначення комп'ютерних вірусів базується на теоремі Кліні з теорії алгоритмів, згідно якої, по аналогії з моделлю Л.Адлемана, кожній функції ставиться у відповідність число. Тоді, результатом функції від числа буде саме це число, що означає можливість тиражування програм. Запропонована модель була використана для більш точної оцінки обчислення складності алгоритмів розпізнавання комп'ютерних вірусів.

Подловченко Р.І. в роботах [7–9] було запропоновано формальні моделі програм та використано їх для оцінки складності обчислювального процесу. Крім того, нею було досліджено та розроблені моделі еквівалентних програм, які відповідали поліморфним та метаморфним вірусам, і для них здійснено віднесення до класів обчислювальних задач, враховуючи особливості коду, за складністю обчислювального процесу. Запропоновані моделі можуть бути використані при розробці засобів виявлення комп'ютерних вірусів, особливо з метаморфним і поліморфним навантаженням, але не враховують наявності поширення

ШПЗ в комп'ютерних мережах.

Таким чином, відомі моделі дозволяють вирішити оцінку складності обчислювального процесу при визначенні віднесення програм до множини ШПЗ, надають формальне представлення означення комп'ютерних вірусів, але не в повній мірі охоплюють все ШПЗ і тому не можуть бути основою для практичної інтерпретації всього ШПЗ з метою його представлення для підвищення достовірності ідентифікації.

Основна частина. Позначимо множину всього шкідливого програмного забезпечення V , яке перебуває в комп'ютерних системах локальних мережах. Тобто розглядатимемо те ШПЗ, яке за певних обставин та на протязі певного часу експлуатації локальних комп'ютерних мереж, проникло в комп'ютерні системи, змогло пройти певні системи захисту і функціонує там. Представимо ШПЗ в локальних комп'ютерних мережах, особливістю якого є втілення у виконувани файли, завантажувальний сектор жорсткого диску, оперативний запам'ятовуючий пристрій та поширення мережею своїх копій, алгебраїчною системою типу $\tau = (\alpha, \beta)$:

$$\mathcal{U}_V = (V, \Omega_F, \Omega_P), \quad (1)$$

де $\Omega_F = \{F_0, F_1, F_2, \dots, F_{\alpha_1}, \dots\}$ – множина операцій заданих на множині V для кожного $\alpha_1 = 0, 1, 2, \dots$; $\Omega_P = \{P_0, P_1, P_2, \dots, P_{\beta_1}, \dots\}$ – множина предикатів заданих на множині V для кожного $\beta_1 = 0, 1, 2, \dots$; $\alpha = 1$, $\beta = 1$ – парності операцій, тому тип системи $\tau = (1, 1)$. Елементами множини $v_j \in V$ ($j = 1, 2, \dots$)

вважатимемо всі об'єкти файлової системи, завантажувального сектору диску, оперативної пам'яті, мережні пакети, які відносяться до розглядуваного ШПЗ. Елементи $v_j \in V_0 \subseteq V$ є одиничними елементами, тобто такими, що містять єдиний функціонал, вміст якого полягає у необхідності здійснення самокопіювання з метою поширення, але без конкретного функціонального наповнення для виконання технічно цих дій. Решта операцій представлені іншими функціями. Ці елементи, що формують множину V_0 є породжуючими для решти різних елементів множини V . Функції з множини Ω_F виконуються на елементах v_0 , що формує інші об'єкти, які належатимуть множині V , а також можуть виконуватись на інших елементах множини V , які не належать множині V_0 . Функції з множини Ω_P не завжди успішно виконуватимуться по відношенню до елементів з множини V , тому для представлення ШПЗ в локальних мережах вибрано також множину предикатів, яка відображатиме результат успішного/неуспішного виконання функцій.

Функції F_{α_1} ($\alpha_1 = 0, 1, 2, \dots$) з множини Ω_F визначимо, як такі що здійснюватимуть відображення елементів з множини V на неї. Їх конкретне визначення залежатиме від поділу множини Ω_F на підмножини за різними характеристичними властивостями ШПЗ. Предикати P_{β_1} ($\beta_1 = 0, 1, 2, \dots$) з множини Ω_P визначимо, як такі що будуть істинними при успішному виконанні операцій і хибними – в іншому випадку.

Множину Ω_F представимо її підмножинами Ω_{F_1} , які відображатимуть такі характеристичні для ШПЗ властивості та закладені в його функціонал особливості:

- 1) зберігання знань про механізм місцезорозміщення своїх наступних копій;
- 2) пошук місця в пам'яті для розміщення своєї копії;
- 3) знання про механізми втілення у виконувани програми;
- 4) механізми запису в оперативну пам'ять;
- 5) приховування свого перебування в комп'ютерних системах;
- 6) пошук інших вузлів мережі для свого поширення;
- 7) механізми для формування і відправки мережних пакетів;
- 8) подолання механізмів захисту;
- 9) техніки запису своїх копій в головний завантажувальний сектор;
- 10) виконання деструктивних дій.

Ці характеристичні властивості ШПЗ пов'язані з системними викликами, які відносяться до роботи з файлами, оперативною пам'яттю та командами роботи в мережі: створення, відкриття, закриття, видалення, читання, записування, додавання, знаходження, отримання атрибутів і встановлення атрибутів, команди доступу до ОП, команди для роботи в мережі. Відповідність характеристичних ознак ШПЗ системним викликам представлено в таблиці 1.

Реалізація характеристичних властивостей ШПЗ пов'язана з системними викликами та командами для роботи в мережі визначатиме наповнення функцій з множини Ω_F і залежатиме від них, що дозволить ідентифікувати такі дії.

Під новими копіями ШПЗ вважатимемо співпадіння ШПЗ за семантикою, а не тільки за синтаксисом. Тому, при поширенні ШПЗ у випадку зміни синтаксису важливими є особливості функціоналу незалежно від синтаксису коду.

Місцем можливого розміщення ШПЗ в комп'ютерних системах локальних комп'ютерних мереж може бути оперативна пам'ять, зовнішня пам'ять та мережні пакети. Представлення місця перебування шкідливого програмного забезпечення в комп'ютерних системах зображено на рис. 1. Таке виділення трьох основних складових необхідно для побудови моделей ШПЗ, які б стали основою для розробки нових методів їх виявлення. Наявність ШПЗ в зовнішній пам'яті є характерним для усіх його різновидів. Перебування ШПЗ в мережних пакетах для частини ШПЗ є обов'язковим, оскільки характеризує механізми його поширення. Для іншої частини ШПЗ перебування в мережних пакетах не є обов'язковим, тобто їх поширення може відбуватись іншими шляхами, зокрема і через носії зовнішньої пам'яті. Використання

ШПЗ для свого перебування можливе тільки при ввімкненій працюючій КС. Для певної частини ШПЗ використання оперативної пам'яті є обов'язковим місцем розміщення та функціонування, а для іншої тільки місцем на час виконання. Врахування в моделях ШПЗ місця їх перебування є важливим елементом, який може бути використаний при їх виявленні, оскільки розробники ШПЗ закладають в нього знання про їх місцезнаходження в КС. Тобто ШПЗ володіє техніками перевірки свого місцезнаходження, що є важливим при розробці його моделей. Елементи місць розміщення ШПЗ потребуватимуть деталізації в залежності від їх функційного призначення та технічних характеристик, що впливатиме на моделі ШПЗ і потребуватиме їх деталізації і уточнення.

Таблиця 1

Відповідність характеристичних ознак ШПЗ системним викликам

Характеристичні властивості ШПЗ	створення	відкриття	закриття	видалення	читання	записування	додавання	знаходження	отримання атрибутів	встановлення атрибутів	команди доступу до ОП	команди для роботи в мережі
зберігання знань про механізм місцезнаходження своїх наступних копій								+	+		+	
пошук місця в пам'яті для розміщення своєї копії									+		+	
знання про механізми втілення у виконуваних програмах	+	+	+	+							+	
механізми запису в оперативну пам'ять	+	+	+	+	+	+		+			+	
приховування свого перебування в комп'ютерних системах	+	+	+	+	+	+	+	+			+	
пошук інших вузлів мережі для свого поширення									+		+	+
механізми для формування і відправки мережних пакетів									+		+	+
подолання механізмів захисту	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
техніки запису своїх копій в головний завантажувальний сектор						+					+	
виконання деструктивних дій	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

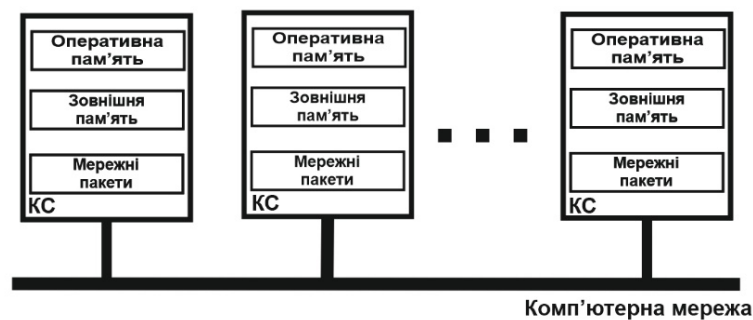


Рис. 1. Місця перебування ШПЗ

Розглядаючи ШПЗ з точки зору його місця розміщення та пошуку ним його для зберігання себе і своїх копій при поширенні, представимо модель ШПЗ за цією характерною властивістю. Виділимо в множині всіх програм підмножину шкідливого програмного забезпечення для якого характерна властивість полягає у збереженні закладеної у ШПЗ інформації про механізми поширення в частині перебування їх в зовнішній пам'яті, оперативній пам'яті і мережних пакетах. Здійснимо її формалізоване представлення для використання в процесі пошуку ШПЗ.

Виділимо в множині Ω_F підмножину Ω_{F_k} таким чином, щоб $\Omega_F = \bigcup_{k=1}^n \Omega_{F_k}$, де k – кількість характеристичних властивостей ШПЗ. Тоді, алгебраїчну систему для першої властивості, що характеризує знання про місцезнаходження ШПЗ при $p=1$ для всієї локальної мережі задамо так:

$$\mathcal{M}_{V,1} = \langle V, \Omega_{F_1}, \Omega_{F_1} \rangle \quad (2)$$

де Ω_{F_1} – множина операцій заданих на множині V , Ω_{F_2} – множина предикатів заданих на множині V .

Нехай $V = \bigcup_{s=1}^s V_s$, тобто виділимо в кожній КС локальної мережі підмножину ШПЗ V_s , де $s = 1, 2, \dots, n$. Для виділених підмножин з множини V в момент часу $t=0$ буде справедливе твердження $\bigcap_{s=1}^s V_s = \emptyset$. Дійсно, з самого початку початкового встановлення програмного забезпечення на всі КС мережі в них немає ШПЗ. В процесі збільшення часу їх роботи, тобто при $t > 0$, ймовірність появи ШПЗ певного на різних КС мережі зростає, тому справедливим може бути твердження $\bigcap_{s=1}^s V_s \neq \emptyset$. Задамо алгебру для першої властивості, що характеризує знання про місцезнаходження ШПЗ при $p=1$ для однієї з КС мережі так:

$$B_{V_s,1} = \langle V_s, \Omega_{F_1} \rangle, \quad (3)$$

де s – кількість вузлів ЛКМ; Ω_{F_1} – множина функцій заданих на множині V , яка впливає на місцезнаходження наступних копій ШПЗ. Ця множина функцій здійснює відображення копії ШПЗ в певний об'єкт зовнішньої пам'яті, оперативного запам'ятовуючого пристрою та мережного пакету. Якщо $v_{s,j,l} \in V_s$, де j – це номер елемента ШПЗ, l – номер версії j елемента, тоді $F_{1,k} \in \Omega_{F_1}$, де k – кількість функцій в множині Ω_{F_1} , $k \in N$. Ці функції $F_{1,k}$ здійснюють відображення елемента $v_{s,j,l}$ в множину V_s , тобто $F_{1,k}(v_{s,j,l}) = v_{s,j,l+1}$, де $v_{s,j,l+1} \in V_s$, якщо наступна копія ШПЗ створюватиметься в тій же КС мережі. Але наступна копія може створюватись і на іншій КС мережі, тому функцію $F_{1,k}$ можна задати так:

$$F_{1,k}(v_{s,j,l}) = \begin{cases} v_{s,j,l+1} & \text{якщо } v_{s,j,l+1} \in V_s \\ v_{s',j,l'} & \text{якщо } v_{s',j,l'} \in V_{s'} \end{cases}, \quad (4)$$

де s' – номер КС в мережі відмінний від s , l' – номер копії ШПЗ відмінний від l . Для функції $F_{1,k}$ існує також обернена функція $F_{1,k}^{-1}$, яка встановлює відповідність між елементами множини V так:

$$F_{1,k}^{-1}(v_{s,j,l+1}) = v_{s,j,l}, \quad F_{1,k}^{-1}(v_{s',j,l'}) = v_{s,j,l}. \quad (5)$$

Таблиця 2

Приклад поширення одного елемента ШПЗ в залежності від часу

Номер КС	Час, t									
	0	1	2	3	4	...	t_1	...	t_z	...
1				$v_{1,j,0}$ ($v_{s,j,0}$)		...			$v_{1,j,1}$	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
s-2					$v_{s-2,j,0}$ ($v_{s,j,0}$)	...	$v_{s-2,j,1}$			...
s-1				$v_{s-1,j,0}$ ($v_{s,j,0}$)		...	$v_{s-1,j,1}$ ($v_{s+1,j,0}$)			...
s		$v_{s,j,0}$			$v_{s,j,1}$	...	$v_{s,j,1}$	...	$v_{s,j,l+1}$	...
s+1			$v_{s+1,j,0}$ ($v_{s,j,0}$)			...				...
s+2			$v_{s+2,j,0}$ ($v_{s,j,0}$)			...			$v_{s+2,j,1}$	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
n						...	$v_{n,j,0}$ ($v_{s,j,1}$)			...

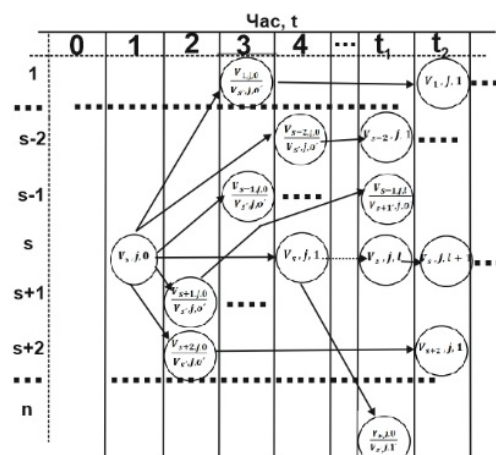


Рис. 2. Граф поширення ШПЗ в часі та в ЛКМ, представлений станами для одного з елементів множини V

Для КС з номером s у випадку появи j -го елементу множини V через час t від початку її функціонування в мережі можуть бути створені копії безпосередньо в цій же s -й КС або інших КС локальної мережі. Тому, результат поширення одного елементу ШПЗ можна відобразити послідовностями в таблиці 2. Дане представлення залежить від часу та вузла ЛКМ, тому його можна інтерпретувати як часову модель поширення ШПЗ в ЛКМ. Представлені в таблиці елементи, які відповідають копіям одного з елементів множини V , графом станів, де у вершинах розмістимо ці елементи, а дуги відповідатимуть за зв'язки між попередніми та наступними копіями елементів, зобразимо на рис. 2.

Зображені дугами графа на рис. 2 переходи, які здійснюватимуться між елементами, між різними вузлами ЛКМ міститимуть проміжні рівні, що відповідають за формування, пересилання та обробку мережних пакетів. Також, в дугах є ще один рівень переходів, який відображає виконання операції поширення копій із використанням оперативного запам'ятовуючого пристрою. Часову діаграму для графу з рис. 2 зобразимо на рис. 3.

		Час, t									
		0	1	2	3	4	...	t_1	...	t_z	...
1							...		...		...
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
s-2							...		...		...
s-1							...		...		...
s							...		...		...
s+1							...		...		...
s+2							...		...		...
...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
n							...		...		...

Рис. 3. Часова інтерпретація поширення елементу $v_{s,j,i}$ з множини V

Зведення даних про поширення копій зі всіх КС локальної мережі, наприклад, зображено на рис. 4.

Час, t																							
t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}	t_{12}	t_{13}	t_{14}	t_{15}	t_{16}	t_{17}	t_{18}	t_{19}	t_{20}	t_{21}	t_{22}	...	
																						...	

Рис. 4. Зведена часова інтерпретація поширення елементу $v_{s,j,i}$ з множини V

Наслідком з такої інтерпретації поширення елементу $v_{s,j,i}$ з множини V є можливість обчислення середнього часу поширення для одного елементу та багатьох за формулою:

$$\Delta t = \frac{t_z - t_0}{\sum_{i=1}^I i_j} \quad (6)$$

де I_j – кількість копій елементу $v_{s,j,i}$ з множини V в кожному вузлі ЛКМ, i – кількість КС в мережі, t_0 – початковий час, t_z – поточний час роботи. Також, цю формулу можна узагальнити для всіх елементів з множини V , які можуть поширюватись в ЛКМ, тоді середній час поширення для всіх елементів визначається за формулою:

$$\Delta t = \frac{t_z - t_0}{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I i_{j,i}} \quad (7)$$

де $i_{j,i}$ – кількість копій j -го елементу $v_{s,j,i}$ з множини V в кожному вузлі ЛКМ, i – кількість КС в мережі, j -й елемент з множини V , t_0 – початковий час, t_z – поточний час роботи. Крім того, з формули 6 можна виразити швидкість поширення ШПЗ в ЛКМ за певний час:

$$w = \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I i_{j,i}}{t_z - t_0} \quad (8)$$

Цю швидкість w можна використати для оцінки прогнозу поширення ШПЗ на протязі деякого часу.

Важливим, також, є дослідження кількості поширення елементів з множини V в конкретних вузлах мережі в позиціонуванні їх від місця поширення та від певної копії одного елементу, тобто визначення кількості поширених копій у вузлах ЛКМ одного елементу $v_{s,j,i}$ з множини V . Матрицею суміжності представимо в таблиці 3 залежність породжених копій елементів у вузлах ЛКМ від копій елементів з різних вузлів ЛКМ.

Матриця є несиметричною, бо граф поширення ШПЗ в ЛКМ є орієнтованим. Очевидно, що копії елементів, які поширені з однієї КС можуть поширити свої копії теж на цю ж КС. Тому, за умови поширення ШПЗ протягом тривалого часу можливою є наявність всіх не нулевих елементів матриці. Такі матриці для одного або більше елементів з множини V , отримані багатократно на протязі певного часу, дозволяють визначати рівень безпеки розподіленої багаторівневої системи виявлення ШПЗ в ЛКМ.

Таблиця 3

Матриця суміжності породжених копій елементів у вузлах ЛКМ

Номер КС	1	2	...	n	Разом:
1	$l_{1,1}$	$l_{1,2}$	...	$l_{1,n}$	$\sum_{j=1}^n l_{1,j}$
2	$l_{2,1}$	$l_{2,2}$	...	$l_{2,n}$	$\sum_{j=1}^n l_{2,j}$
...	...	...	...	...	...
n	$l_{n,1}$	$l_{n,2}$	...	$l_{n,n}$	$\sum_{j=1}^n l_{n,j}$
Разом:	$\sum_{i=1}^n l_{i,1}$	$\sum_{i=1}^n l_{i,2}$	...	$\sum_{i=1}^n l_{i,n}$	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n l_{i,j}$

Таблиця 4

Приклад поширення одного елементу ШПЗ залежно від кількості об'єктів в пам'яті

Номер КС	Кількість об'єктів в пам'яті									
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	...	k_m	...	$k_{z(s)-1}$	$k_{z(s)}$
1				$v_{1,j,0}$ ($v_{s,j,0}$)		...			$v_{1,j,1}$	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$s-2$					$v_{s-2,j,0}$ ($v_{s,j,0}$)	...	$v_{s-2,j,1}$			
$s-1$				$v_{s-1,j,0}$ ($v_{s,j,0}$)		...	$v_{s-1,j,1}$ ($v_{s+1,j,0}$)			
s	$v_{s,j,1}$			$v_{s,j,0}$		...	$v_{s,j,1}$	...	$v_{s,j,1+1}$	
$s+1$			$v_{s+1,j,0}$ ($v_{s,j,0}$)			...				
$s+2$		$v_{s+2,j,1}$				...	$v_{s+2,j,0}$ ($v_{s,j,0}$)			
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
n		$v_{n,j,0}$ ($v_{s,j,1}$)				...				

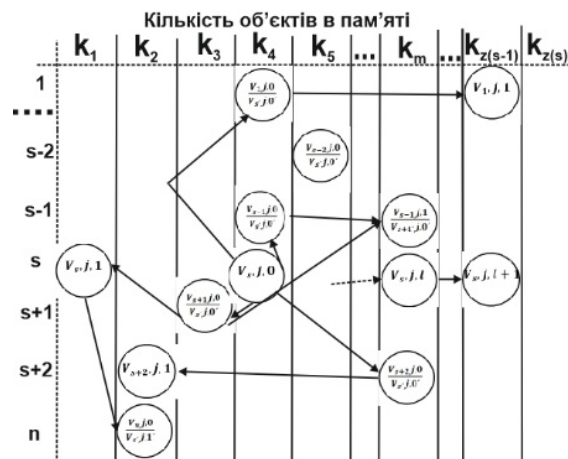


Рис. 5. Граф поширення ШПЗ в ЛКМ, представлений копіями для одного з елементів множини V

Розглянемо ШПЗ відносно місця розміщення без врахування часу, протягом якого воно поширювалось і буде поширюватись. Особливою ознакою виділимо кількість об'єктів, які можуть бути розміщені в пам'яті кожної КС мережі. Ця кількість є скінченною і залежить від обсягу пам'яті, причому в різних КС вона може бути різною. Для КС з номером s у випадку появи j -го елементу множини V через час t від початку її функціонування в мережі можуть бути створені копії безпосередньо в цій же s -й КС або інших КС локальної мережі. Тому, результат поширення одного елементу ШПЗ можна відобразити послідовностями в таблиці 4, які на відміну від часової моделі можуть бути розміщеними не спочатку, а в

певній частині пам'яті і поширюватись в об'єкти як до так і після об'єкту з $v_{s,j,l}$. Зображення у вигляді графу подано на рис. 5.

Задамо узагальнене представлення даних з таблиці 3 матрицею суміжності. Для цього введемо позначення об'єктів пам'яті змінними та їх представлення у вигляді лінійних многочленів з коефіцієнтами. Дійсно, кожному об'єкту, відомості про який представлено в таблицях файлових систем можна поставити у взаємно-однозначну відповідність змінну з індексом. Оскільки кількість таких об'єктів скінченна, тоді многочлен буде мати скінченну кількість доданків. Побудуємо коефіцієнти змінних многочлена в такий спосіб, щоб вони містили інформацію про ШПЗ, його походження та різні його інші атрибути. Виділимо з них такі та введемо їх позначення: (1) номер об'єкта з цього місця перебування; (2) номер об'єкта цієї ж КС але іншого місця перебування; (3) номер об'єкта з іншої КС, з якого надійшло ШПЗ; (4) номер КС, з якої надійшов пакет з ШПЗ. Для їх відображення коефіцієнтами використаємо базис i, j, k в такий спосіб: $\alpha_{1,s,p} + \alpha_{2,s,p} i + \alpha_{3,s,p} j + \alpha_{4,s,p} k$, де $\alpha_{x,s,p}$ - x -й коефіцієнт, що вибирається з множини $\{1; 2; 3; 4\}$, s – номер КС в мережі, p – номер об'єкту, для якого задано коефіцієнт. Крім того, для спрощення представлення таких коефіцієнтів, в яких зберігаються відомості про ШПЗ, здійснимо їх подання в матричному вигляді так:

$$\begin{pmatrix} \alpha_{1,s,p} & \alpha_{2,s,p} i \\ \alpha_{3,s,p} j & \alpha_{4,s,p} k \end{pmatrix} \text{ або } \begin{pmatrix} \alpha_{1,s,p} & \alpha_{2,s,p} \\ \alpha_{3,s,p} & \alpha_{4,s,p} \end{pmatrix} \quad (9)$$

Позначимо $A_{s,p} = \alpha_{1,s,p} + \alpha_{2,s,p} i + \alpha_{3,s,p} j + \alpha_{4,s,p} k$, тоді в результаті отримуємо таке представлення об'єктів в мережі:

$$\begin{pmatrix} A_{1,1}x_{1,1} & +A_{1,2}x_{1,2} & +A_{1,3}x_{1,3} & \dots & +A_{1,p_1}x_{1,p_1} \\ A_{2,1}x_{2,1} & +A_{2,2}x_{2,2} & +A_{2,3}x_{2,3} & \dots & +A_{2,p_2}x_{2,p_2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{s,1}x_{s,1} & +A_{s,2}x_{s,2} & +A_{s,3}x_{s,3} & \dots & +A_{s,p_s}x_{s,p_s} \end{pmatrix}, \quad (10)$$

де кожен рядок-вираз відображає стан об'єктів в КС, а всі рядки – стан об'єктів в локальній мережі, причому p_s – кількість об'єктів в КС, s – кількість КС в мережі. Для представлення матрицею відомостей про об'єкти необхідно доповнити всі послідовності виразів до $\max p_s$ доданками, в яких змінні $x_{s,p_s+j} = 0$, причому $p_s + j \leq \max(p_s)$ для всіх $j = 0, 1, \dots, \max(p_s) - p_s$. Таким чином, отримаємо таку матрицю відомостей про об'єкти в мережі:

$$\begin{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_{1,1,1} & \alpha_{2,1,1} \\ \alpha_{3,1,1} & \alpha_{4,1,1} \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \alpha_{1,1,2} & \alpha_{2,1,2} \\ \alpha_{3,1,2} & \alpha_{4,1,2} \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \alpha_{1,1,3} & \alpha_{2,1,3} \\ \alpha_{3,1,3} & \alpha_{4,1,3} \end{pmatrix} & \dots & \begin{pmatrix} \alpha_{1,1,p_1} & \alpha_{2,1,p_1} \\ \alpha_{3,1,p_1} & \alpha_{4,1,p_1} \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \alpha_{2,1,1} & \alpha_{2,1,2} \\ \alpha_{3,2,1} & \alpha_{4,2,1} \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \alpha_{2,1,2} & \alpha_{2,1,3} \\ \alpha_{3,2,2} & \alpha_{4,2,2} \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \alpha_{2,1,3} & \alpha_{2,1,4} \\ \alpha_{3,2,3} & \alpha_{4,2,3} \end{pmatrix} & \dots & \begin{pmatrix} \alpha_{2,1,p_1} & \alpha_{2,1,p_1+1} \\ \alpha_{3,2,p_1} & \alpha_{4,2,p_1+1} \end{pmatrix} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \begin{pmatrix} \alpha_{s,1,1} & \alpha_{2,s,1} \\ \alpha_{3,s,1} & \alpha_{4,s,1} \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \alpha_{s,1,2} & \alpha_{2,s,2} \\ \alpha_{3,s,2} & \alpha_{4,s,2} \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \alpha_{s,1,3} & \alpha_{2,s,3} \\ \alpha_{3,s,3} & \alpha_{4,s,3} \end{pmatrix} & \dots & \begin{pmatrix} \alpha_{s,1,p_s} & \alpha_{2,s,p_s} \\ \alpha_{3,s,p_s} & \alpha_{4,s,p_s} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \quad (11)$$

Враховуючи, що можливими місцями перебування ШПЗ можуть бути основна та вторинна пам'ять і мережні пакети в кожній КС мережі, то задамо їх множиною $Q = \{0; 1; 2\}$, де елемент 0 відповідатиме за перебування в основній пам'яті, елемент 1 – вторинній пам'яті, елемент 2 – мережному пакеті. Знаходження копії елементу множини V в мережному пакеті може бути в момент часу, коли вже здійснено формування пакету та відбувається його пересилання і отримання, тому саме в цей момент часу копія не перебуватиме в основній чи вторинній пам'яті. Позначивши місце перебування M_q , де $q \in Q$, введемо відповідну функцію так:

$$R_{1,k}(v_{s,j,l}) = \begin{cases} 0, \text{ якщо } v_{s,j,l} \in M_0 \\ 1, \text{ якщо } v_{s,j,l} \in M_1 \\ 2, \text{ якщо } v_{s,j,l} \in M_2 \end{cases}, \quad (12)$$

Далі використовуємо значення цієї функції $R_{1,k}(v_{s,j,l})$ в матриці відповідності кожній КС мережі місця перебування елементу множини V і такі матриці будуємо для кожного j -го елементу.

Задамо алгебру для властивості, що характеризує пошук ШПЗ місця в пам'яті для розміщення своєї копії в комп'ютерних системах. При цьому встановимо $p=2$ для однієї з КС мережі так:

$$\mathcal{B}_{V,p,2} = \langle V, \Omega_{p,2} \rangle, \quad (13)$$

де s – кількість вузлів ЛКМ; $\Omega_{p,2}$ – множина функцій заданих на множині V , яка здійснює пошук ШПЗ місця в пам'яті для розміщення своєї копії в комп'ютерних системах.

Введемо предикати на множині V таким чином, що вони відображатимуть результат виконання відповідних функцій в множину $\{0; 1\}$, тобто наявність зв'язку між елементами $v_{s,j,l}$ та $v_{s,j,l+1}$, так:

$$F_{1,k}(v_{s,j,l}, v_{s,j,l+1}) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } F_{1,k}(v_{s,j,l}) = v_{s,j,l+1} \\ 0, \text{ якщо } F_{1,k}(v_{s,j,l}) \neq v_{s,j,l+1} \end{cases}, \quad (14)$$

де s – номер КС в мережі, l – номер копії ШПЗ, $v_{s,j,l} \in V_s$. Тоді, задамо модель наступним чином:

$$\mathcal{W}_{V,1} = \langle V, \Omega_{F,1,k} \rangle, \quad (15)$$

де $\Omega_{F,1,k}$ – множина предикатів, заданих на множині V .

Розділимо всі функції, які задані на множині V і виконують дії по втіленню ШПЗ у виконуваних програми, на підмножини так: функції запису в початок виконуваної програми із збереженням її функціоналу, функції запису в середину виконуваної програми із збереженням її функціоналу, функції

запису в кінець виконуваної програми із збереженням її функціоналу, функції запису в різні частини виконуваної програми із збереженням її функціоналу, функції запису в початок виконуваної програми без збереженням її функціоналу, функції запису в середину виконуваної програми без збереженням її функціоналу, функції запису в кінець виконуваної програми без збереженням її функціоналу, функції запису в різні частини виконуваної програми без збереженням її функціоналу. Задамо алгебру для цієї властивості, що характеризує механізм втілення ШПЗ у виконувану програму при $p=3$ для однієї з КС мережі так:

$$\mathbb{B}_{15,3} = (V_3, \Omega_{F_3}). \quad (16)$$

де s – кількість вузлів ЛКМ; Ω_{F_3} – множина функцій заданих на множині V , яка здійснює втілення своїх копій ШПЗ у виконувані програми. Цю множина функцій Ω_{F_3} розділимо на вісім підмножин за способом втілення у корисну програму $\Omega_{F_3} = \bigcup_{r=1}^8 \Omega_{F_{3,r}}$. Процес втілення у вибрану виконувану програму здійснюється шляхом виконання відповідної функції $\Omega_{F_{3,r}}$ ($r=1,2,\dots,8$) з врахуванням структури виконуваної програми та типу операційної системи. Відмінність між корисною виконуваною програмою і програмою, в яку втілено ШПЗ, відобразиться в структурі і кожного разу при використанні типової функції буде однаковим. Тобто результатом успішного виконання функції буде типова послідовність дій, результат якої відобразиться в результуючому коді виконуваної програми. Тип операційної системи, в якій можуть активуватись функції $\Omega_{F_{3,r}}$ ($r=1,2,\dots,8$) теж закладено їх розробниками і враховується при пошуку об'єктів для втілення. Введемо для відображення типу операційної системи множину $O = \{o_1, o_2, \dots, o_2\}$, де g – кількість типів.

Додамо до цієї множини функцій Ω_{F_3} підмножини за способом втілення не в корисну програму, а формуванням окремого файлового об'єкту. Для таких функцій приймемо $r=9$ і відповідна підмножина $\Omega_{F_{3,9}}$.

Задамо алгебру для властивості, що характеризує механізми запису ШПЗ в оперативну пам'ять при $p=4$ для однієї з КС мережі так:

$$\mathbb{B}_{15,4} = (V_4, \Omega_{F_4}). \quad (17)$$

де s – кількість вузлів ЛКМ; Ω_{F_4} – множина функцій заданих на множині V , яка здійснює запис ШПЗ в оперативну пам'ять. В множину функцій входять ті функції, які відносяться до того ШПЗ, яке постійно перебуває в оперативній пам'яті, і позначимо його підмножиною $\Omega_{F_{4,1}}$. До другої підмножини віднесемо ті функції, які переводять об'єкти з вторинної пам'яті в оперативну пам'ять, і після цього вони поширюватимуться вже перебуваючи там. Позначимо цю підмножину $\Omega_{F_{4,2}}$. До третьої підмножини $\Omega_{F_{4,3}}$ віднесемо всі об'єкти з вторинної пам'яті, які при поширенні використовуватимуть оперативну пам'ять, і ці функції виконуватимуть дії по реалізації механізмів перенесення та виконання в ній команд ШПЗ.

Задамо алгебру для властивості, що характеризує механізми приховування ШПЗ свого перебування в комп'ютерних системах при $p=5$ для однієї з КС мережі так:

$$\mathbb{B}_{15,5} = (V_5, \Omega_{F_5}). \quad (18)$$

де s – кількість вузлів ЛКМ; Ω_{F_5} – множина функцій заданих на множині V , яка здійснює приховування ШПЗ свого перебування в комп'ютерних системах.

Задамо алгебру для властивості, що характеризує механізми пошуку інших вузлів мережі для свого поширення при $p=6$ для однієї з КС мережі так:

$$\mathbb{B}_{15,6} = (V_6, \Omega_{F_6}). \quad (19)$$

де s – кількість вузлів ЛКМ; Ω_{F_6} – множина функцій заданих на множині V , яка здійснює пошуку інших вузлів мережі для свого поширення.

Задамо алгебру для властивості, що характеризує механізми для формування і відправки мережних пакетів в комп'ютерних системах при $p=7$ для однієї з КС мережі так:

$$\mathbb{B}_{15,7} = (V_7, \Omega_{F_7}). \quad (20)$$

де s – кількість вузлів ЛКМ; Ω_{F_7} – множина функцій заданих на множині V , яка здійснює для формування і відправки мережних пакетів в комп'ютерних системах.

Задамо алгебру для властивості, що характеризує механізми подолання систем захисту в комп'ютерних системах при $p=8$ для однієї з КС мережі так:

$$\mathbb{B}_{15,8} = (V_8, \Omega_{F_8}). \quad (21)$$

де s – кількість вузлів ЛКМ; Ω_{F_8} – множина функцій заданих на множині V , яка здійснює подолання систем захисту в комп'ютерних системах.

Задамо алгебру для властивості, що характеризує техніки запису своїх копій в головний завантажувальний сектор в комп'ютерних системах при $p=9$ для однієї з КС мережі так:

$$\mathbb{B}_{15,9} = (V_9, \Omega_{F_9}). \quad (22)$$

де s – кількість вузлів ЛКМ; Ω_{F_9} – множина функцій заданих на множині V , які здійснюють запис своїх копій в головний завантажувальний сектор в комп'ютерних системах.

Задамо алгебру для властивості, що характеризує реалізацію виконання деструктивних дій в комп'ютерних системах при $p=10$ для однієї з КС мережі так:

$$\mathbb{B}_{15,10} = (V_{10}, \Omega_{F_{10}}). \quad (23)$$

де s – кількість вузлів ЛКМ; $\Omega_{F,s}$ – множина функцій заданих на множині V , які здійснюють виконання деструктивних дій в комп'ютерних системах. Ці деструктивні дії відмінні від функцій реалізованих у властивостях 1–9.

Для заданих множин функцій алгебр, що відображають формальні властивості ШПЗ в процесі його поширення, введемо множини предикатів $\Omega_{F,k}$ так, що вони відображатимуть результат успішного/неуспішного виконання відповідних функцій в множину $\{0,1\}$, де s – номер КС в мережі. Тоді, задамо моделі, які відповідатимуть розглядуваним властивостям наступним чином:

$$M_{V,k} = (V, \Omega_{F,k}), \quad (24)$$

де $\Omega_{F,k}$ – множина предикатів, заданих на множині V , k – номер властивості ШПЗ.

Висновки. Сукупність розроблених алгебр є основою для системного розподілу інформації про характерні особливості ШПЗ в процесі свого життєвого циклу. Використання таких характеристик дозволить здійснювати виявлення ШПЗ шляхом аналізу особливостей, які проявлятимуться під час виконання функцій. Тобто виконання кожної функції на множині ШПЗ здійснюватиметься типовим способом, знання про який використовуватиметься при виявленні.

Формалізовані властивості ШПЗ представлені розробленими алгебрами задано моделями, які дозволили створити удосконалену модель ШПЗ в локальних мережах, яка на відміну від класичної моделі Коена, деталізована до рівнів властивостей ШПЗ, дозволяє представити ШПЗ через механізми його поширення в плоскій моделі пам'яті, особливістю якої є розгляд паралельних середовищ поширення в пам'яті різних КС в локальній мережі. Це надасть змогу формалізовано представити ШПЗ в локальних комп'ютерних мережах з метою його ідентифікації згідно з характеристичними властивостями.

Отримані моделі є важливими для теорії і практики створення ефективних систем виявлення шкідливого програмного забезпечення в локальних комп'ютерних мережах.

Напрямок подальших досліджень є конкретизація та визначення множини функцій, які формуватимуть елементи ШПЗ, з метою представлення їх поведінковими сигнатурами для підвищення ефективності їх ідентифікації.

Література

1. Фон Нейман Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов / Фон Нейман Дж. – М. : Мир, 1971. – 281 с.
2. Cohen F. Computational aspects of computer viruses / F. Cohen // Computers and Security. – 1989. – Vol. 8. – P. 325–344.
3. Cohen F. Computer viruses: theory and experiments / F. Cohen // Computers and Security. – 1987. – Vol. 6. – P. 22–35.
4. Adleman L. An Abstract Theory of Computer Viruses / L. Adleman // CRYPTO '88. – P. 354–374.
5. Bonfante G., Kaczmarek M., Marion J.-Y. A Classification of viruses through recursion theorems / G. Bonfante, M. Kaczmarek, J.-Y. Marion // CiE. – 2007. – P. 73–82.
6. Bonfante G. Abstract detection of computer viruses / G. Bonfante, M. Kaczmarek, J.-Y. Marion // Munich, APPSEM II, 2005.
7. Подловченко Р.И. Иерархия моделей программ / Р.И. Подловченко // Программирование. – 1981. – № 2. – С. 3–14.
8. Подловченко Р.И. Полугрупповые модели программ / Р.И. Подловченко // Программирование. – 1981. – № 4. – С. 3–13.
9. Подловченко Р.И. Регулярные модели программ / Р.И. Подловченко, Н.А. Аланакян // Программирование. – 1993. – № 4. – С. 3–11.

References

1. Fon Neiman Dzh. Teoriya samovosproizvodiashchykh avtomatov / Fon Neiman Dzh. – M. : Myr, 1971. – 281 s.
2. Cohen F. Computational aspects of computer viruses / F. Cohen // Computers and Security. – 1989. – Vol. 8. – P. 325–344.
3. Cohen F. Computer viruses: theory and experiments / F. Cohen // Computers and Security. – 1987. – Vol. 6. – P. 22–35.
4. Adleman L. An Abstract Theory of Computer Viruses / L. Adleman // CRYPTO '88. – P. 354–374.
5. Bonfante G., Kaczmarek M., Marion J.-Y. A Classification of viruses through recursion theorems / G. Bonfante, M. Kaczmarek, J.-Y. Marion // CiE. – 2007. – P. 73–82.
6. Bonfante G. Abstract detection of computer viruses / G. Bonfante, M. Kaczmarek, J.-Y. Marion // Munich, APPSEM II, 2005.
7. Podlovchenko R.Y. Yerarkhiya modelei prohramm / R.Y. Podlovchenko // Prohrammyrovanye. – 1981. – № 2. – S. 3–14.
8. Podlovchenko R.Y. Poluhgrupповые modely prohramm / R.Y. Podlovchenko // Prohrammyrovanye. – 1981. – № 4. – S. 3–13.
9. Podlovchenko R.Y. Rehuliarnыe modely prohramm / R.Y. Podlovchenko, N.A. Alanakian // Prohrammyrovanye. – 1993. – № 4. – S. 3–11.

Рецензія/Peer review : 17.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 10.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ВИКОРИСТАННЯ МОВИ GO У РОЗРОБЦІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У даній статті розглядаються теоретичні аспекти мови програмування Go, її переваги та недоліки перед іншими мовами, порівняння. Також обґрунтовується доцільність та протиріччя використання мови Go в розробці програмного забезпечення.

Ключові слова: програмний продукт, інформаційні технології, програмне забезпечення, Go, Golang, мова програмування.

O.M. YASHYNA, O.A. KRAVCHUK

Khmelnytsky National University

USAGE OF GO LANGUAGE IN SOFTWARE DEVELOPMENT

The theoretical aspects of the programming language Go, advantages and disadvantages over other languages, comparisons. Also justifies and contradicts the use of Go in software development. Go (often also Golang) is a multithreaded programming language developed by Google. The first development of the language took place in September 2007 and was aimed at reducing the resource costs for the creation of local projects in the company, its first release took place in 2009. Supported by all popular operating systems, which makes it very convenient for any developer. Go language was developed as a language of system programming to create highly effective programs that work on modern distributed systems and multi-core processors. It can be seen as an attempt to replace such languages as Java, C++, Php. The greatest attention was paid to the highly effective compilation of programs. Applications written on Go do not require a virtual machine to execute, since they are compiled into an object code. The language continues to evolve, and developers are considering the possibility of incorporating generalized programming into the language. In the "Frequently Asked Questions" language is based on arguments against the use of allegations, and inheritance without specifying the type, on the contrary, stands out. The syntax of the Go language is similar to the syntax of the C language, with separate elements borrowed from Oberon and script languages. This language is already used by its authors - Google, as well as many other big firms such as: Abode, BBC, IBM, Intel and even Medium. This suggests that Go is capable of satisfying any business model, as well as solving a lot of problems, even in large projects, which hints at its use in its own startups or ideas.

Keywords: software product, information technology, software, Go, Golang, programming language.

Вступ. До недавнього часу найбільш розповсюджені мови програмування, такі як Java, C++, Php, охоплювали основний ринок розробки програмних продуктів. З часом ці мови стали доволі гнучкими та складними, завдяки ним можна написати проект будь-якої складності. Але постає нова проблема – велика ресурсозатратність для бізнесу. Наймати спеціалістів цих мов доволі дорого, а також постають проблеми у супроводі продукту, якщо його взяла інша команда розробників. Вперше, над цією проблемою задумалася корпорація Google і було вирішено створити просту але ефективну у застосуванні мову програмування. Це б дозволило вирішити такі проблеми:

1. Створення допоміжних продуктів, котрі не виходять за межі корпорації.
2. Низькі затрати ресурсів на створення таких продуктів.
3. Навчання програмістів єдиної мови програмування.
4. Легка заміна програміста іншим спеціалістом, котрий за вихідні розбереться з проектом.

Для вирішення таких проблем і була створена мова програмування Go, котра з часом набула популярності, вийшла у світ і наразі використовується багатьма фірмами та стартапами для швидкого, дешевого та ефективного створення програмного продукту.

Метою статті є визначення теоретичних аспектів мови програмування Go, а також обґрунтування доцільності та виокремлення протиріччя використання цієї мови при створенні програмного продукту.

Аналіз досліджень та публікацій. Методологічною основою нашого дослідження стали праці таких дослідників як Батчер Метт, Фарина Метт, Алан А.А. Донован, Брайан У. Керніган, та багато інших. Загалом ці дослідники описують саму мову та деякі її переваги та недоліки над іншими, а також застосування кращих сторін Go на практиці.

Не зважаючи на велику кількість документації та статей по даній темі, залишається відкритим питання використання на практиці мови, що і обґрунтовує науковий та практичний інтерес до цієї теми.

Виклад основного матеріалу. Go (часто також Golang) — багатопоточна мова програмування, розроблена компанією Google. Перша розробка мови відбувалася у вересні 2007 року і мала на меті знизити ресурсні затрати на створення локальних проектів в компанії, перший її реліз відбувся у 2009 році. Підтримується усіма популярними операційними системами, що робить її дуже зручною для любого розробника [1, 3].

Мова Go розроблялася як мова системного програмування для створення високоефективних програм, котрі працюють на сучасних розподілених системах і багатоядерних процесорах. Вона може розглядатися як спроба замінити такі мови як Java, C++, Php. Найбільша увага приділялося високоефективній компіляції програм. Програми, написані на Go не потребують віртуальної машини для виконання, так як вони компілюються в об'єктний код.

Основні можливості мови Go:

- Go — мова зі строгою типізацією. Доступний автоматичний вивід типів, для користувацьких типів.
- Повноцінна підтримка вказівників, але без можливостей застосовувати до них математичні операції.

- Стрічковий тип зі вбудованою підтримкою юнікоду.
- Використання динамічних масивів, хеш-таблиць, цикли для обходу колекцій.
- Засоби для функціонального програмування: функції без імені, замикання, передача функції в параметрі, повернення значень функції
- Автоматичне керування пам'яттю для garbage collector
- Засоби ООП, але без підтримки наслідування реалізації. Підтримуються тільки інтерфейси.

Завдяки цьому Go являється більше процедурною мовою з підтримкою інтерфейсів.

- Засоби паралельного програмування: вбудовані в мову потоки, взаємодія потоків через канали та інші засоби організації багатопоточних програм.

- Лаконічний та простий синтаксис, основою для якого служить C.

Можливості, котрі заборані з Go:

- Структурний запис обробників виключень, замість неї пропонується повернення перевірки кодів повернення з використанням багатозначних функцій, відкладених функцій та спеціального інтерфейсу `err` для перехвату виключень.

- Наслідування реалізації. На заміну приходять анонімне вкладення типів.

- Використання стверджень.

- Перевизначення методів.

Мова продовжує розвиватися, і розробники розглядають можливість включення в мову засобів узагальненого програмування. У «Частих питаннях» за мовою наводяться аргументи проти використання стверджень, а успадкування без вказування типу, навпаки, відстоюється.

Синтаксис мови Go схожий з синтаксисом мови Cі, з окремими елементами, запозиченими з Оберона і скриптових мов.

Будь-яка локальна змінна обов'язково повинна бути використана, тобто її значення має брати участь в будь-якій операції в межах функції, де вона оголошена. На відміну від Паскаля і Cі, де оголошення локальної змінної і подальше її невикористання або втрата значення, присвоєння локальній змінній (коли змінній присвоюється значення, яке потім ніде не читається), може лише викликати попередження (warning) компілятора, в Go така ситуація вважається мовною помилкою і призводить до неможливості компіляції програми. Це означає, зокрема, що програміст не може проігнорувати значення (або одне зі значень), що повертається функцією, просто присвоївши його якій-небудь змінній і відмовитися від її подальшого використання. Якщо виникає необхідність ігнорувати одне зі значень, що повертаються викликом функції, використовується зумовлена псевдозмінна з ім'ям «`_`» (один знак підкреслення). Вона може бути вказана в будь-якому місці, де повинна бути змінна, що приймає значення. Відповідне значення не буде надано жодній змінній і просто загубиться. Сенса такого архітектурного рішення – виявлення на стадії компіляції можливої втрати результатів обчислень: випадковий пропуск обробки значення буде виявлений компілятором, а використання псевдозмінної «`_`» вкаже на те, що програміст свідомо проігнорував результати [2].

Для обробки помилок творці мови рекомендують використовувати повернення помилки як одного з результатів виклику функції і перевірку його на місці виклику. Типовий порядок, який витримує в стандартних бібліотеках Go, виглядає наступним чином:

- В одному з параметрів (зазвичай останньому) функція повертає об'єкт-помилку. В якості типу помилки зазвичай використовується бібліотечний інтерфейс `error`. Типовою практикою є повернення порожнього показника `nil`, якщо функція виконалася без помилок.

- Після виклику отриманий з функції об'єкт перевіряється і помилка, якщо вона виникла, обробляється.

- Проігнорувати помилку, яка повертається з функції неможливо, так як ініціалізація змінної без подальшого використання в мові Go призводить до помилки компіляції. Звичайно, цей ефект можна обійти підстановкою замість `err` псевдозмінної «`_`», але це вважається поганою практикою і, у всякому разі, явно кидається в очі при перегляді коду.

Початківці програмісти на Go нерідко критикують його ідеологію обробки помилок, заявляючи, що численні перевірки помилок засмічують код і ускладнюють його сприйняття, тоді як механізм винятків дозволяє зосередити всю обробку помилок в блоках `catch`. Насправді ідеологія Go цілком дозволяє обробляти помилки елегантно і економно, в літературі з мови описаний ряд патернів для цього.

При виникненні фатальних помилок, які роблять неможливим подальше виконання програми, виникає стан «паніки» (`panic`). Типовий приклад виникнення паніки - поділ на нуль в процесі обчислень або звернення за межі масиву. За відсутності обробки паніка призводить до аварійного завершення програми з видачею повідомлення про помилку і трасування стека викликів. Для забезпечення відмовостійкості програми паніка теж може бути перехоплена і оброблена. Для цього використовується механізм відкладеного виконання `defer`. Інструкція `defer`, як говорилося вище, отримує в якості параметра виклик функції (тобто фактично створює замикання), який проводиться тоді, коли виконання програми залишає поточну область видимості. Це відбувається навіть у випадку паніки. Для її перехоплення в функції, що викликається в `defer`, необхідно викликати стандартну функцію `recover()` – вона припиняє системну обробку паніки і повертає її причину у вигляді об'єкта `error`. Далі програміст може обробити отриману помилку будь-яким бажаним чином, в тому числі і відновити паніку, викликавши стандартну функцію `panic(err)`.

Go дає можливість створити новий потік виконання програми (`go-процедура`) за допомогою ключового слова `go`, яке запускає анонімну або іменовану функцію в заново створеній `go-процедурі` (аналог

співпрограми). Всі go-процедури в рамках одного процесу використовують загальний адресний простір, виконуючись над ОС-потокми, але без жорсткої прив'язки до останніх, що дозволяє виконуваний go-процедурі залишати потік із заблокованої go-процедурою (очікуючій, наприклад, надсилання і прийняття повідомлення з каналу) і продовжувати роботу далі [2].

В об'єктно-орієнтованому програмуванні спеціальне ключове слово для оголошення класу в Go відсутня, але для будь-якого іменованого типу, включаючи структури і базові типи на кшталт `int`, можна визначити методи, так що в сенсі ООП все такі типи є класами.

Синтаксис визначення методу запозичений з мови Оберон-2 і відрізняється від звичайного визначення функції тим, що після ключового слова `func` в круглих дужках оголошується так званий «одержувач» (англ. Receiver), тобто об'єкт, для якого викликається метод, і тип, до якого належить метод. Якщо в традиційних об'єктних мовах одержувач зазвичай має стандартне ім'я (в C++ або Java - «this», в ObjectPascal - «self» і т. п.), то в Go він вказується явно і його ім'я може бути будь-яким правильним Go-ідентифікатором.

Спадкування класів (структур) в Go формально відсутнє, але є технічно близький до нього механізм вбудовування (англ. Embedding). В описі структури можна використовувати так зване анонімне поле – поле, для якого не вказується ім'я, а тільки тип. В результаті такого опису всі елементи вбудованої структури стануть однойменними елементами вбудованої. На відміну від класичного наслідування, вбудовування НЕ тягне поліморфну поведінку (об'єкт вбудованого класу не може виступати в якості об'єкта вбудованого без перетворення типів).

Поліморфізм класів забезпечується в Go механізмом інтерфейсів (схоже на повністю абстрактні класи в C++). Інтерфейс описується за допомогою ключового слова `interface`, всередині (на відміну від описів типів-класів) опису оголошуються надавані інтерфейсом методи.

У Go немає можливості явно вказати, що певний тип реалізує певний інтерфейс. Замість цього діє правило: кожен тип, що надає методи, позначені в інтерфейсі, може бути використаний як реалізація цього інтерфейсу [4].

Хоча в принципі можливо побудувати в програмі на Go і ієрархію інтерфейсів, як це практикується в інших об'єктних мовах, і навіть імітувати спадкування, це вважається поганою практикою. Мова диктує не ієрархічний, а композиційний підхід до системи класів і інтерфейсів. Класи-структури при такому підході взагалі можуть залишатися формально незалежними, а інтерфейс не об'єднуються в єдину ієрархію, а створюються для конкретних застосувань, при необхідності вставляють вже наявні. Неявна реалізація інтерфейсів в Go забезпечує надзвичайну гнучкість цих механізмів і мінімум технічних труднощів при їх використанні.

Такий підхід до спадкоємства відповідає деяким практичним тенденціям сучасного програмування. Так в знаменитій книзі «банди чотирьох» (Еріх Гамма і ін.) Про патерни проектування, зокрема, написано: Залежність від реалізації може спричинити за собою проблеми при спробі повторного використання підкласу. Якщо хоча б один аспект успадкованої реалізації непридатний для нової предметної області, то доводиться переписувати батьківський клас або замінювати його чимось більш підходящим. Така залежність обмежує гнучкість і можливості повторного використання. З проблемою можна впоратися, якщо наслідувати тільки абстрактні класи, оскільки в них зазвичай зовсім немає реалізації або вона мінімальна.

У Go немає поняття віртуальної функції. Поліморфізм забезпечується за рахунок інтерфейсів. Якщо для виклику методу використовується змінна звичайного типу, то такий виклик зв'язується статично, тобто завжди викликається метод, певний для даного конкретного типу. Якщо ж метод викликається для змінної типу «інтерфейс», то такий виклик зв'язується динамічно, і в момент виконання для запуску вибирається той варіант методу, який визначений для типу об'єкта, фактично присвоєного в момент виклику цієї змінної [5].

З технічного боку, ніша у Go досить скромна: мережа, утиліти, бекенд. Якщо є складна мережа або багато нод, для яких потрібен окремий підхід, то Go – це хороший вибір (судячи з досвіду CloudFlare). Якщо потрібна консольна утиліта, начебто докера або консула, то Go теж підійде. Якщо потрібен швидкий і в принципі ефективний бекенд, то теж можна вибрати Go.

Висновки. Отже, проаналізувавши різні джерела можна дійти до висновку, що мова програмування Go має своє майбутнє і може використовуватися багатьма корпораціями і фірмами для вирішення різноманітних проблем. Хоча ця мова і відрізняється від багатьох звичних, вона є дуже потужною і дає таку ж високу ефективність як C, C++, швидку обробку багатозадачності як Java, а також дає можливість легкого написання коду. Ця мова вже використовується її авторами – Google, а також багатьма іншими великими фірмами, такими як: Abole, BBC, IBM, Intel і навіть Medium. Це говорить про те, що мова Go здатна задовольнити будь-яку бізнес-модель, а також вирішити багато проблем, навіть у великих проектах, що натякає на її використання у власних стартапах або ідеях.

Література

1. https://golang.org/doc/effective_go.html.
2. <https://tour.golang.org>.
3. <https://habrahabr.ru/hub/go/>
4. [https://uk.wikipedia.org/wiki/Go_\(мова_програмування\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Go_(мова_програмування)).
5. Matt Butcher. Go in Practice. – М. : DMK Press, 2017. – 374 p.

Рецензія/Peer review : 2.05.2018 р.

Надрукована/Printed : 15.05.2018 р.

Рецензент: док. фіз-мат. наук, проф. Бедратюк Л.П.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА РОЗПОДІЛУ ЗАДАЧ СЕРЕД WEB - РОЗРОБНИКІВ

В статті запропоновано підхід до оптимізації процесу розробки програмного забезпечення та розподілу задач серед розробників.

Проблема полягає у відсутності чітких рекомендацій по розробці файлів вихідного коду контролерів, моделей і представлень і специфікації їх взаємозв'язків. Для оптимізації процесу розробки програмного забезпечення необхідною умовою є оптимізація процесу роботи всіх програмістів – членів команди. Веб-додатки оперують величезними обсягами даних, в тому числі і персональними даними (такими як номери кредитних карт), що пред'являє високі вимоги до програмного коду. У той же час, велика тривалість розробки, погодження та затвердження міжнародних і національних стандартів призводить до їх консерватизму, а також до хронічного відставання вимог і рекомендацій цих документів від сучасної практики та технології створення складних систем. Сучасні методи розробки програмних засобів, їх уніфікація та стандартизація, не повною мірою враховують специфіку розробки веб-додатків з використанням вільних інтернет-технологій. Проблема полягає у відсутності чітких рекомендацій по розробці файлів вихідного коду контролерів, моделей і представлень і специфікації їх взаємозв'язків.

Низький поріг входження в технологію для розробника створює можливість появи веб-додатків, програмний код яких не задовольняє вимогам якості. Внаслідок цього, розроблений програмний код веб-додатків не уніфікований і не стандартизований. За допомогою застосування СКР-функції (середньостатистичні коливання працездатності) до визначення денного фокус-фактора розробника обчислено значення фокус-фактора для нових команд. Це значення може використовуватися при плануванні ітерації нової команди, або індивідуальному плануванні для нового члена команди розробки, вирішена оптимізаційна задача по визначенню такого розподілу завдань по програмістам, яка призведе до максимізації показника продуктивності (Прозр) всієї команди, підвищення ефективності вирішення практичних завдань розробки веб-додатків.

Вирішено оптимізаційну задачу по визначенню розподілу задач серед розробників, яка призведе до максимізації показника продуктивності всієї команди.

Ключові слова: веб-додатки, контролери, моделі, представлення, програмний код, метод, алгоритм, структурний синтез, інтернет-технології.

S.R. KRASILNIKOV
Khmelnytsky National University

OPTIMIZATION OF PROCESS OF DEVELOPMENT OF SOFTWARE AND DISTRIBUTION OF TASKS AMONG WEB - DEVELOPERS

Abstract - The article suggests an approach to optimizing the process of software development and distribution of tasks among developers.

The problem is that there are no clear recommendations for the development of source code files for controllers, models and views, and specification of their interrelationships. To optimize the process of software development, it is necessary to optimize the work of all programmers-team members. Web applications operate with huge amounts of data, including personal data (such as credit card numbers), which places high demands on the software code. At the same time, the lengthy development, harmonization and approval of international and national standards leads to their conservatism, as well as to the chronic lag in the requirements and recommendations of these documents from modern practices and the technology of complex systems. Modern methods of software development, their unification and standardization do not fully take into account the specifics of developing web applications using free Internet technologies. The problem is that there are no clear recommendations for the development of source code files for controllers, models and views, and specification of their interrelationships.

A low threshold of entry into technology for the developer creates the possibility of the appearance of web applications, the program code of which does not meet the quality requirements. Because of this, the developed code of web applications is not unified and not standardized. By using the TFR-function (average statistical fluctuation of working capacity) to determine the day-to-day focus-factor of the developer, the value of the focus factor for new teams was calculated. This value can be used when planning the iteration of a new team, or for individual planning for a new member of the development team, an optimization task has been solved to determine this distribution of tasks by programmers, which will lead to maximization of the performance score (RRAS) of the entire team, applications.

The optimization task to determine the distribution of tasks among developers, which will lead to the maximization of the performance of the whole team, is solved.

Keywords: Web applications, controllers, models, views, program code, method, algorithm, structural synthesis, Internet technologies.

Вступ. На даний момент мережа Інтернет являє собою сукупність веб-додатків. Основна функція веб-додатка полягає в обробці запитів і генерації відповіді користувачеві. На процес взаємодії з користувачем накладається ряд обмежень згідно з протоколом прикладного рівня HTTP. Найпоширенішою платформою розробки веб-додатків є LAMP – в склад якої входить – операційна система Linux, веб - сервер Apache, реляційна база даних MySQL та інтерпретатор PHP. На даній платформі розробляються багатокомпонентні програмні рішення з участю багатьох десятків розробників. Веб-додатки починають оперувати величезними обсягами даних, в тому числі і персональними даними (такими як номери кредитних карт), що пред'являє високі вимоги до програмного коду. У той же час, велика тривалість розробки, погодження та затвердження міжнародних і національних стандартів призводить до їх консерватизму, а

також до хронічного відставання вимог і рекомендацій цих документів від сучасної практики та технології створення складних систем.

Протягом декількох десятиліть вирішується задача пошуку повторюваного, передбаченого процесу або методології, яка б покращала продуктивність, якість і надійність розробки програмного забезпечення. Для коректної постановки задачі, перш за все, необхідно сформулювати опис предметної області, її характеристик і одиниць вимірювання. В процесі створення або модифікації веб-додатка розробник виконує роботу, яка характеризується трудомісткістю, що виражається (вимірюється) в *sp* (*story point*). Для оптимізації процесу розробки програмного забезпечення необхідною умовою є оптимізація процесу роботи всіх програмістів – членів команди. Сучасні методи розробки програмних засобів, їх уніфікація та стандартизація, не повною мірою враховують специфіку розробки на платформі LAMP з використанням вільних інтернет-технологій. В цих умовах створення методів розробки веб-додатків є актуальною задачею.

Постановка задачі. Архітектура програмного забезпечення або комп'ютерної системи являє собою сукупність структур, що складаються з програмних елементів, зовні видимих властивостей цих елементів та взаємозв'язків між ними. Архітектура – це незмінна глибинна структура веб-додатка, помилки, закладені в архітектуру при її проектуванні, будуть призводити до ще більших помилок в процесі її реалізації. Зв'язки між частинами програмної системи були описані без конкретизації. Крім того на момент створення архітектури такі програмні системи, як веб-додатки були відсутні в принципі. У зв'язку з цим поширеним явищем стало невірне трактування архітектури, що призвело до появи великої кількості не уніфікованого програмного коду, що не задовольняють вимогам якості.

Сучасні методи розробки програмних засобів, їх уніфікація та стандартизація, не повною мірою враховують специфіку розробки веб-додатків з використанням вільних інтернет-технологій. Проблема полягає у відсутності чітких рекомендацій по розробці файлів вихідного коду контролерів, моделей і представлень і специфікації їх взаємозв'язків. На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що існує необхідність створення методів і алгоритмів оптимізації розробки веб-додатків, які включали б в себе питання зберігання (синтез рівня моделей) і взаємодії (синтез рівня контролерів).

Основна частина. При розробці програмного забезпечення постають проблеми якості, вартості та надійності. Деякі програми містять мільйони рядків коду. Як очікується, цей код буде правильно виконуватися у змінних умовах. Протягом декількох десятиліть вирішується задача пошуку повторюваного, передбаченого процесу або методології, яка б покращала продуктивність, якість і надійність розробки.

Для коректної постановки задачі, перш за все, необхідно сформулювати опис предметної області, її характеристик та їх одиниць вимірювання.

В процесах створення або модифікації веб-додатка розробник виконує роботу, яка характеризується трудомісткістю, що вимірюється в *SP* (*story point*). *SP* – загальнокомандна оцінююча одиниця роботи, що на першій ітерації приймається за людино-годину. Під розробкою веб-додатка розуміється ітераційний процес. Загальний час розробки ділиться на інтервали (спринти). SP_i – інтервал розробки, одна ітерація циклу. $T_{SPR}(S_i)$ – довжина інтервалу розробки, що вимірюється в годинах. При ітераціях однакової довжини, яка рівняється одному тижню, $T_{SPR} = 40$ [годин]. $A_i^{Fixed}(S_i)$ – трудомісткість ітерації, виміряна в інтервалах розробки - *SP*. Розробник працює над конкретними задачами («тікетами») tk_i , які також характеризуються $T(tk_i)$ – часом, витрачений на виконання задачі, $A(tk_i)$ – її трудомісткість і $V(tk_i)$ – її корисність (важливість). Задача tk_i для розробника вважається виконаною, якщо вона переходить із стану *new* (задача формалізована) в стан *fixed* (завершена). Для цього розробник виконує роботу в кількості $A(tk_i)$ за час $T(tk_i)$ [*SP*]. Загальний об'єм роботи, що виконується *i*-тим програмістом за одну ітерацію розраховується наступним чином:

$$A_i^{Fixed} = \sum_{i=1}^{n_{Fixed}} A_i^{Fixed} [SP],$$

де n_{Fixed} – кількість виконаних задач. Продуктивність розробника (P_i) визначається відношенням виконаних задач до загальної кількості часу в спринті:

$$P_i = \frac{A_i^{Actual}}{T_{SPR}} [SP / час]$$

Продуктивність команди розраховується наступним чином:

$$P_{розр} = \sum_{i=1}^{N_p} P_i$$

де N_p – кількість розробників у команді, M_N – кількість часу в ітерації (при тижневій ітерації M_N рівняється 40). Оскільки, зазвичай за *SP* приймають величину роботи, що виконується за один час ($t(SP)=1[час]$), то допустима область існування критерію $P_{розр}$ виражається так: $(0, M_N \cdot N_p)$.

Фокус-фактор (FF_{SPR}) – це величина, яка характеризується відношенням виконаної роботи

(A_{SPR}^{Actual}) до запланованої $(A_{SPR}^{Estimated})$:

$$FF_{SPR} = \frac{A_{SPR}^{Actual}}{A_{SPR}^{Estimated}}$$

діапазон значень (0,1). Таким чином, задача зводиться до максимізації показника продуктивності команди розробників.

Нехай V_{SPR}^A – кількість доступних (*available*) людино-годин ітерації, а V_{SPR}^E – кількість очікуваних (*estimated*) людино-годин ітерації, V_D^A – кількість доступних годин в день для одного програміста (рівняється 8), V_D^E – кількість очікуваних робочих годин в день для одного програміста.

$$V_{SPR}^E = V_{SPR}^A \cdot FF_{SPR} \quad V_{SPR}^A = M_N \cdot N_P; \quad \text{де } V_{SPR}^E = V_{SPR}^A \cdot FF_{SPR}.$$

Для оптимізації процесу розробки команди необхідною умовою є оптимізація процесу розробки всіх членів команди. Нехай $FF_D(t)$ – $\Phi\Phi$ -функція (залежність фокус-фактору від часу протягом дня), а $ff_D(t)$ – СКП-функція (середньостатистичні коливання працездатності).

Отже вони виражають зосередженість програміста на вирішенні задачі. Основний робочий час знаходиться в інтервалі 10.00 – 18.00 годин. Графік СКП-функції виглядає наступним чином (рис. 1):

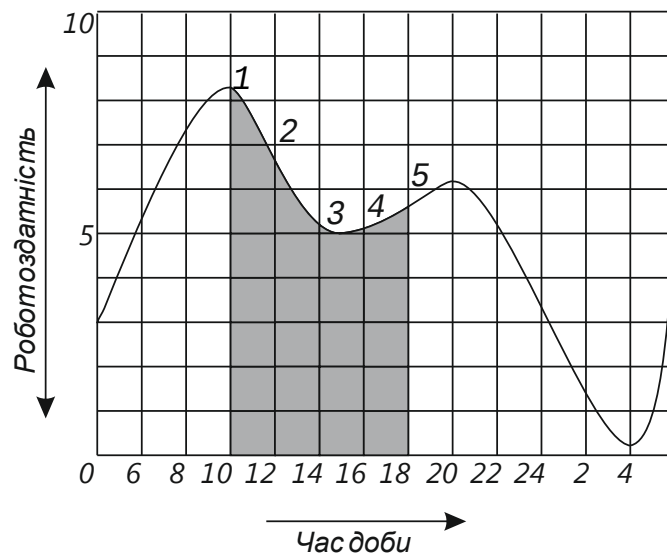


Рис. 1. Графік СКП-функції

Дані функції (ff та FF) володіють наступними властивостями:

$$FF_D(t) \notin (0,1); \quad ff_D(t) \notin (0,10); \quad \min(ff) = 0.2; \quad \max(ff) = 8.1;$$

$$V_D^A = 8; \quad V_D^E = \int_{t_1}^{t_2} ff(t), \quad t_1 = 10, \quad t_2 = 18$$

Визначимо в табл. 1 вузли інтерполяції ($\Delta t = 2$ год.) і екстремуми СКП-функції ($\min(ff) = 0.2$; $\max(ff) = 8.1$) на інтервалі (10,18).

Таблиця 1

Аргументи та значення СКП та $\Phi\Phi$ функцій

№	T	$ff(t)$	$ff'(t)$	$ff''(t)$
1	10	8.1	7.9	1
2	12	6.5	6.5	0.82
3	14	5.1	4.9	0.62
4	16	5.1	4.9	0.62
5	18	5.7	5.5	0.7

Функція $ff'(t)$ отримана зсувом $ff(t)$ на 0.2 вниз, а функція $ff''(t)$ отримана масштабуванням $ff'(t)$ на інтервалі (0,1):

$$\min(FF) = 0, \quad \max(FF) = 1; \quad \min(ff) = 0.2, \quad \max(ff) = 8.1$$

$$K_{\text{масшт}} = \frac{\max(FF)}{\max(ff')} = \frac{1}{7.9} = 0.126$$

Далі здійснимо інтерполяцію функції $FF(t)$ за допомогою полінома Лагранжа. Поліном представлено наступним чином:

$$L(x) = l_0(x) + 0.81 \cdot l_1(x) + 0.62 \cdot l_2(x) + 0.62 \cdot l_3(x) + 0.7 \cdot l_4(x)$$

Кількість очікуваних годин роботи розробника за день визначається як

$$V_D^E = \int_{t_1}^{t_2} FF(t), \quad t_1 = 10, \quad t_2 = 18; \quad V_D^E = 5.81125$$

При кількості доступних людино-годин рівних $V_{SPR}^A = V_D^A \cdot M_N \cdot N_P = 8 \cdot 4 \cdot 5 = 160$ для команди з чотирьох людей ($N_P=4$) при тижневій ітерації ($M_N=5$) кількість очікуваних людино-годин для першої ітерації розраховується, як $V_{SPR}^E = V_D^E \cdot M_N \cdot N_P = 5.81123 \cdot 4 \cdot 5 = 116.225 [SP]$. Таким чином фокус-фактор розраховується, як відношення очікуваної кількості людино-годин до наявної

$$FF = \frac{V_D^E}{V_D^A} = \frac{5.81125}{8} = 0.72640625$$

В результаті розрахунків вдалось отримати значення фокус-фактору першої ітерації для нових команд. На сьогодні використовується значення 0.70, проте у роботі вдалось здійснити уточнення значення даного параметру з використанням СКП-функції. Це значення може використовуватись при плануванні ітерації нової команди чи при індивідуальному плануванні для нового члена команди.

Завдання оптимізації процесу розробки при денному плануванні роботи розробника визначається наступним чином. Нехай ϵ n завдань у списку завдань на виконання (*product backlog*). Завдання i ($i = 1, 2 \dots n$) характеризується обсягом роботи a_i (вираженої в SP) і корисністю v_i , яку призначає керівник проекту (або замовник). Нехай V_D^E – загальний максимально допустимий обсяг робіт, що виконується розробником за день. З раніше проведеного розрахунку $V_D^E = 5.81124 [SP]$ (при SP прийнятій за одну людино-годину

роботи). Потрібно обрати завдання таким чином, щоб їх загальний обсяг робіт $\left(\sum_{i=1}^n a_i \right)$ не перевищував

максимально допустимий обсяг (V_D^E), при цьому сумарна корисність набору завдань була максимальною. Нехай $x_i = 1$, якщо завдання призначене розробнику, та $x_i = 0$ в іншому випадку. Математичне формулювання завдання буде таким:

$$F(x) = \sum_{i=1}^n v_i \cdot a_i \rightarrow \max; \quad \sum_{i=1}^n v_i \cdot a_i \leq V_D^E; \quad x_i \notin \{0, 1\}, i=1, 2, \dots, n.$$

Додаткові обмеження:

$$1) V_D^E = 5.81124 [SP];$$

2) кожне завдання можна обрати тільки один раз.

Дану оптимізовану задачу можливо вирішити шляхом динамічного програмування, шляхом розбиття її на більш прості підзадачі, результати вирішення яких зберігаються в локальній пам'яті. Це різко зменшує необхідний обсяг обчислень.

Загальний алгоритм оптимізації процесу розробки команди буде наступним:

- для першої ітерації значення фокус-фактора приймається рівним 0.72640625. Вирішується завдання денного планування для кожного розробника окремо. Завдання з множини $T(\text{product backlog})$ сортується по зменшенню корисності. Узагальнюючи частні рішення, обчислюється значення V_D^E для команди. Процес повторюється кожен день протягом ітерації;

- після ітерації розраховуються значення фокус-фактора FF_{SPR} для кожного розробника на основі отриманих значень $\sum_{i=1}^n a_i$;

- на наступній ітерації, поставлені завдання знову сортується по зменшенню корисності, а програмісти – по зменшенню V_D^E . Завдання денного планування вирішується за допомогою обчислених на минулій ітерації значень фокус-фактора розробників, а обмеження обчислюються за методом «вчорашньої погоди» з $\sum_{i=1}^n a_i$.

Таким чином планування оптимізується, максимізуючи при цьому корисність виконаних завдань.

У стандарті ДСТУ 2850-94 «Програмні засоби ЕОМ. Показники і методи оцінювання якості» веб-додатки не виділені як окремий клас програмного забезпечення (так як їх не було на момент створення стандарту), але вони відповідають підкласу «інше програмне забезпечення». Вибір показників якості програмного забезпечення для цього підкласу здійснюється в залежності від їх призначення з урахуванням вимог областей застосування.

З множини критеріїв якості було обрано ті критерії, які впливають на продуктивність розробки веб-додатку: *C1*, *C2*, *C4*, *ГЗ*. Для незлічених критеріїв оптимізації використовуються експертні оцінки, для злічених – відповідні формули розрахунку.

Для характеристики продуктивності розробки (P_{PO3P}) використовується інтервальна абсолютна критеріальна шкала (*IAKШ*). Критерій розраховується наступним чином:

$$P_{PO3P} = \sum_{i=1}^{N_p} \left(\frac{\sum_{j=1}^{n_{Fixed}} A_j^{Fixed}}{M_N} \right), \text{ де } P_{PO3P} \notin (0,1)$$

Після декількох ітерацій продуктивність розробки збільшується (завдяки використанню запропонованих у роботі методів) і показник *SP* вже не відображає реальність. Тобто час виконання одиниці роботи після ітерацій займає менше часу, ніж до них $t'(SP) < t(SP)$. Динаміка зміни продуктивності

характеризується їх відношенням $E_v = \frac{t(SP)}{t'(SP)}$. Оскільки $P_{PO3P} \rightarrow \max$, то $t_{PO3P} \rightarrow \min$, $Q \rightarrow \min$.

Повторюваність (*C4*) характеризується з використанням *IAKШ* за такою формулою:

$$K_{nBD} = \frac{V - V_0}{V} \cdot 100\%$$

де V - загальний обсяг файлів програмного коду, V_0 - обсяг оригінальних файлів програмного коду (розроблених вперше). Чим більше сторонніх бібліотек використовується в ВД, тим більше коефіцієнт стандартизації та уніфікації (коефіцієнт застосування) ВД. Область визначення: $[0, 1]$ або $[0, 100\%]$.

Структурність (*C1*) характеризується використанням дискретної абсолютної критеріальної шкали (*ДАКШ*): відсутність архітектури програмного забезпечення. Код практично не структурований, ієрархічно не розділений; наявність деякого принципу упорядкування програмного коду; достатня структурованість. Відсутність єдиної системи найменувань більш ніж в 50% вихідного коду; хороша структурованість. Передбачуваність розташування реалізації набору функцій. В програмному забезпеченні використовується єдина система найменувань; висока глибина ієрархії класів. Чітке розмежування реалізованих функцій.

Простота конструкції (*C2*) за *ДАКШ* поділяється на: надзвичайно складна конструкція системи; складна конструкція архітектури програмного забезпечення; помірна складність конструкції; проста конструкція; дуже проста конструкція.

Можливість модифікацій (*ГЗ*) за *ДАКШ* поділяється на: надзвичайно низька можливість модифікації. Вихідний код неможливо модифікувати під вимоги нового завдання. Будь-яке невелике виправлення викликає крах всієї системи. Немає можливості відстежити залежності і передачі управління в програмному коді; низька можливість модифікації. Для додавання підтримки нового завдання необхідно написати значну кількість нового програмного коду. При цьому відбувається втручання в сторонні підсистеми, які безпосередньо не пов'язані з множиною функцій, що додаються; середня можливість модифікації. Для додавання підтримки нових можливостей необхідно написати не тільки реалізацію, але і провести узгодження програмних інтерфейсів; хороша можливість модифікації. Для додавання підтримки нового завдання необхідно написати незначну кількість нового програмного коду; висока можливість модифікації. Вихідний код легко модифікується під вимоги нового завдання.

В більшості випадків немає необхідності вносити новий програмний код, підтримку нового набору функцій дає конфігурація.

Глобальні параметри оптимізації представлені такою множиною.

$$X = \{ \bar{T}_{APX}, \bar{T}_{KONT}, \bar{T}_{SKONT}, \bar{T}_{VIDIV}, \bar{T}_{MOD} \},$$

де $\bar{T}_{APX}$ – тип архітектури, $\bar{T}_{KONT}$ – тип алгоритму синтезу класів-контролерів по реалізованим функціям, $\bar{T}_{SKONT}$ – тип алгоритму синтезу контролерів по зв'язності з іншими підсистемами, $\bar{T}_{VIDIV}$ – тип алгоритму синтезу представлень (видів), $\bar{T}_{MOD}$ – тип алгоритму розробки рівня моделі.

$$\bar{T}_{APX} = \{ MBД, MBДВЗ, MMBД, MBДВЗК, MBK, MBKДІ, MBKBK, ПA \},$$

де *MBД* – монолітний ВД, *MBДВЗ* – монолітний ВД з виділеним завантажником, *MMBД* – моно-модульний ВД, *MBДВЗК* – монолітний ВД з виділеним завантажником і контролером, *MBK* – архітектура «Модель-Вид-Контролер», *MBKДІ* – архітектура MBK з двоетапною ініціалізацією, *MBKBK* – архітектура MBK з виділеною конфігурацією, *ПA* – пропонується архітектура.

Тип алгоритму синтезу контролерів по реалізованим функціям:

$$\bar{T}_{KONT} = \{ TлK, TнK, Серв \},$$

де *TлK* – «товсті» класи-контролери, *TнK* – «тонкі» класи-контролери, *Серв* – використання тонких контролерів в поєднанні з сервісним шаром.

Тип алгоритму синтезу контролерів по зв'язності з іншими підсистемами:

$$\bar{T}_{SKONT} = \{ HсK, KоФ, KоMд, KоM, KоP \},$$

де *HсK* – незв'язний контролер, *KоФ* – контролер на основі форми (представлення), *KоMд* – контролер

на основі моделі, *КоМ* – контролер на основі мови (лінгвістичний підхід), *КоР* – пропонований метод (контролер на основі ресурсу).

Тип алгоритму синтезу представлень (видів):

$$\bar{T}_{\text{видів}} = \{MB, BB, ШВ\},$$

де *MB* – монолітна модель видів, *BB* – модель з відокремленими видами, *ШВ* – шаблонно-видова архітектура.

Тип алгоритму розробки рівня моделі:

$$\bar{T}_{\text{мод}} = \{PЗ, КЗ, КМЛМ, ОРП\},$$

де *PЗ* – «ручне» виконання запитів, *КЗ* – використання конструктора запитів, *КМЛМ* – використання відділення концептуальної від логічної моделі, *ОРП* – використання системи об'єктно-реляційного перетворення.

Завдання оптимізації полягає в збільшенні продуктивності створення веб-додатків $P_{\text{розр}} \rightarrow \max$ при достатній структурності ($C1 > 3$), помірній складності конструкції ($C2 > 2$), високою повторюваності ($C4 > 0.5$) і високої здатності до модифікації ($ГЗ > 4$).

$$Y = \{(P_{\text{розр}}, C1, C2, C4, ГЗ) : P_{\text{розр}} \rightarrow \max, C1 > 3, C2 > 2, C4 > 0.5, ГЗ > 4\}$$

$$X = \{\bar{T}_{\text{арх}}, \bar{T}_{\text{контр}}, \bar{T}_{\text{сконтр}}, \bar{T}_{\text{видів}}, \bar{T}_{\text{мод}}\}$$

Веб-додаток відноситься до клієнт-серверного типу додатків, в якому клієнтом виступає браузер або інший веб-додаток, а обслуговуючим сервером – веб-сервер. Інформаційна взаємодія між ними здійснюється в мережі пакетної комутації на основі таких протоколів, як HTTP та TCP / IP. Основна функція ВД полягає в обробці призначених для користувача запитів (які можуть спричинити зміну його внутрішнього стану) і генерації відповіді користувачеві. Особливістю веб-додатка, в порівнянні з іншими клієнт-серверними технологіями, є присутність «тонкого клієнта». Це комп'ютер, або програма-клієнт, який переносить всі або більшу частину завдань пов'язані з обробкою інформації на сервер. У випадку з веб-додатком тонкий клієнт – це веб-браузер. Це означає, що при розробці клієнт-серверної системи завдання по створенню клієнтської частини можна виключити, однак залишаються завдання щодо інтеграції конкретного веб-додатка з безліччю типів клієнтів.

Весь інформаційний процес веб-додатка можна розбити на кілька етапів: відображення запиту користувача на інформаційні структури веб-додатка; завантаження стану веб-додатка на основі даних запиту користувача; зміна стану веб-додатка; генерація відповіді веб-додатка для клієнта; відправка відповіді клієнту.

Формалізувати модель веб-додатка можна за допомогою моделі «чорного ящика» типу «трансформатор» (перетворювач), оскільки веб-додатка виконує перетворення запиту клієнта (v) з множини можливих запитів (V) на вході чорного ящика у відповідь (w) з множини відповідей (W) на його виході. Запит клієнта визначається наступним чином:

$$v = \{\bar{H}, \bar{P}_{\text{GET}}, \bar{P}_{\text{POST}}\}, \text{ де } v \in V,$$

де $\bar{H}$ – вектор заголовків запиту по протоколу HTTP (включаючи короткостроковий стан веб-додатка, збережений в Cookies), $\bar{P}_{\text{GET}}$ – вектор параметрів запиту з GET-множини, $\bar{P}_{\text{POST}}$ – вектор параметрів запиту з POST-множини.

Таким чином:

$$w = \{\bar{H}_w, C\}, \text{ де } w \in W,$$

де $\bar{H}_w$ – вектор заголовків відповіді по протоколу HTTP (включаючи заголовки установки короткострокового стану Set-cookie); C – текстовий вміст відповіді в форматі HTML (для браузера в якості клієнта) або JSON / XML для іншого веб-додатка в якості клієнта.

Отже, функціонування веб-додатка є операцією перетворення вхідних значень у вихідні, тобто відображення v на w з використанням s :

$$w = f(\bar{v}, \bar{s}), \text{ де } \bar{s} = s_s \cup s_{DB},$$

де $f(\bar{v}, \bar{s})$ – генеруюча функція веб-додатка.

Таким чином, у даній роботі буде досліджено існуючі ВД, методи їх розробки, що зводяться до реалізації генеруючої функції ВД, їх переваги та недоліки.

Висновки. Для оптимізації процесу розробки програмного забезпечення необхідною умовою є оптимізація процесу роботи всіх програмістів – членів команди. Сучасні методи розробки програмних засобів, їх уніфікація та стандартизація, не повною мірою враховують специфіку розробки на платформі LAMP з використанням вільних інтернет-технологій. В цих умовах створення методів розробки веб-додатків є актуальною задачею. Проведено порівняльний аналіз існуючих архітектур веб-додатків та їх класифікацію. Структурний синтез веб-додатка є багатогранною проблемою, що містить повністю не вирішені питання синтезу як всієї архітектури в цілому, так і вихідного коду рівнів моделей, видів і контролерів зокрема.

Низький поріг входження в технологію для розробника створює можливість появи веб-додатків, програмний код яких не задовольняє вимогам якості. Внаслідок цього, розроблений програмний код веб-додатків не уніфікований і не стандартизований. За допомогою застосування СКР-функції (середньостатистичні коливання працездатності) до визначення денного фокус-фактора розробника обчислено значення фокус-фактора для нових команд. Це значення може використовуватися при плануванні ітерації нової команди, або індивідуальному плануванні для нового члена команди розробки. вирішена оптимізаційна задача по визначенню такого розподілу завдань по програмістам, яке призведе до максимізації показника продуктивності ($P_{розр}$) всієї команди, підвищення ефективності вирішення практичних завдань розробки веб-додатків.

Література

1. Майк Кон. Scrum: Гибкая разработка ПО. / Майк Кон. — Изд-во: Диалектика-Вильямс, 2016. — С. 576.
2. Ленков С.В. Концептуальна схема системи інтелектуальної обробки даних / С.В. Ленков, В.М. Джулій, О.М. Горбатюк, Н.М. Берназ // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. — К.: ВІКНУ, 2014. — Вип. № 46. — С.181-190
3. Джулій В.М. Методи та алгоритми розробки web-додатків / В.М. Джулій, Ю.О. Гунченко, Д.В. Чешун // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. — К.: ВІКНУ, 2017. — Вип. № 56. — С.107-115
4. Роберт Мартин Быстрая разработка программ. Принципы, примеры, практика. /Роберт Мартин, Джеймс Ньюкирк, Роберт Косс — Изд-во: Диалектика-Вильямс, 2004. — 752 с.
5. Сэм Руби. Rails 4. Гибкая разработка веб-приложений / Сэм Руби, Дэвид Томас, Дэвид Ханссон — Изд-во: Питер, 2014. — 448 с.
6. Роберт Мартин Гибкая разработка программ на Java и C++. Принципы, паттерны и методики. /Роберт С. Мартин, Джеймс Ньюкирк, Роберт Косс — Изд-во: Диалектика-Вильямс, 2016. — 704 с.
7. Гарднер Л. Разработка веб-сайтов для мобильных устройств; / Л. Гарднер, Д.Григсби —Питер - Москва, 2013. - 448 с.
8. Дакетт Джон HTML и CSS. Разработка и дизайн веб-сайтов (+ CD-ROM); / Джон Дакетт — Эксмо - Москва, 2013. - 480 с.
9. Китинг Flash MX. Искусство создания web-сайтов; / Китинг, Джоди —ТИД ДС - Москва, 2012. - 848 с.
10. Кузнецов М. PHP. Практика создания Web-сайтов; / М. Кузнецов, И.Симдянов—БХВ-Петербург - Москва, 2012. - 347 с.
11. Митчелл 5 проектов Web-сайтов от фотоальбома до магазина; / Митчелл, Скотт —М.: НТ Пресс - Москва, 2013. - 224 с.
12. Фрейен Бен HTML5 и CSS3.Разработка сайтов для любых браузеров и устройств; / Бен Фрейен— Питер - Москва, 2014. - 304 с.
13. Чебыкин Ростислав Разработка и оформление текстового содержания сайтов; / Ростислав Чебыкин —БХВ-Петербург - Москва, 2014. - 528 с.
14. Энж Эрик. SEO. Искусство раскрутки сайтов; / Эрик Энж , Стефан Спенсер , Рэнд Фишкин , Джесси Стрикчиола —БХВ-Петербург - Москва, 2014. - 668 с.

References

1. Majk Kon. Scrum: Gibkaja razrabotka PO. / Majk Kon. — Izd-vo: Dialektika-Vil'jams, 2016. — S. 576.
2. Lenkov S.V. Konceptual'na shema sistemi intelektual'no'i obrobki danih / S.V. Lenkov, V.M. Dzhulij, O.M. Gorbatjuk, N.M. Bernaz // Zbirnik naukovih prac' Vijs'kovogo institutu Kiivs'kogo nacional'nogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka. — K.: VIKNU, 2014. — Vip. № 46. — С.181-190
3. Dzhulij V.M. Metodi ta algoritmi rozrobki web-dodatkov / V.M. Dzhulij, Ju.O. Gunchenko, D.V. Cheshun // Zbirnik naukovih prac' Vijs'kovogo institutu Kiivs'kogo nacional'nogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka. — K.: VIKNU, 2017. — Vip. № 56. — С.107-115
4. Robert Martin Bystraja razrabotka programm. Principy, primery, praktika. /Robert Martin, Dzhejms N'jukirk, Robert Koss — Izd-vo: Dialektika-Vil'jams, 2004. — 752 s.
5. Sjem Rubi. Rails 4. Gibkaja razrabotka veb-prilozhenij / Sjem Rubi, Djeiv Tomas, Djevid Hansson — Izd-vo: Piter, 2014. — 448 s.
6. Robert Martin Gibkaja razrabotka programm na Java i C++. Principy, patterny i metodiki. /Robert S. Martin, Dzhejms N'jukirk, Robert Koss — Izd-vo: Dialektika-Vil'jams, 2016. — 704 s.
7. Gardner L. Razrabotka veb-sajtov dlja mobil'nyh ustrojstv; / L. Gardner, D.Grigsbi —Piter - Moskva, 2013. - 448 s.
8. Dakett Dzhon HTML i CSS. Razrabotka i dizajn veb-sajtov (+ CD-ROM); / Dzhon Dakett — Jeksmo - Moskva, 2013. - 480 s.
9. Kiting Flash MX. Iskusstvo sozdaniya web-sajtov; / Kiting, Dzhodi —TID DS - Moskva, 2012. - 848 s.
10. Kuznecov M. PHP. Praktika sozdaniya Web-sajtov; / M. Kuznecov, I.Simdjanoj—BHV-Peterburg - Moskva, 2012. - 347 s.
11. Mitchell 5 proektov Web-sajtov ot fotoal'boma do magazina; / Mitchell, Skott —M.: NT Press - Moskva, 2013. - 224 s.
12. Frejen Ben HTML5 i CSS3.Razrabotka sajtov dlja lbyuh brauzerov i ustrojstv; / Ben Frejen— Piter - Moskva, 2014. - 304 s.
13. Chebykin Rostislav Razrabotka i oformlenie tekstovogo sodержaniya sajtov; / Rostislav Chebykin —BHV-Peterburg - Moskva, 2014. - 528 s.
14. Jenzh Jerik. SEO. Iskusstvo raskrutki sajtov; / Jerik Jenzh , Stefan Spenser , Rjend Fishkin , Dzhesi Strikchiola —BHV-Peterburg - Moskva, 2014. - 668 s.

Рецензія/Peer review : 10.04.2018 р. Надрукована/Printed : 17.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

Ю.Н. ШМЕЛЕВ, С.И. ВЛАДОВ, С.Н. БОЙКО, Я.Р. КЛИМОВА

Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета

С.Я. ВИШНЕВСКИЙ

Винницкий национальный технический университет

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВЕРТОЛЕТА МИ-8МТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Исходя из того, что за последние десятилетия количество аварий вертолета Ми-8МТВ составило не один десяток, актуальной научно-практической задачей является диагностика и прогнозирование изменений состояния работы двигателя. В настоящее время существует большое количество подходов к проблеме диагностики сложных динамических объектов, к которым относится и авиационный двигатель вертолета Ми-8МТВ, наиболее распространенным из которых является информационная диагностика [1–4], одним из методов которой является применение нейронных сетей.

Применение нейронных сетей управления позволяет в значительной мере снять математические проблемы аналитического синтеза и анализа свойств исследуемого объекта. Это объясняется тем, что качество процессов управления в нейронных системах большей степени зависит от фундаментальных свойств многослойных нелинейных нейронных сетей, а не от аналитически рассчитанных оптимальных законов, обычно реализуются в виде компьютерной программы. Многослойные нейронные сети имеют ряд достоинств, что обуславливает их применение в задачах управления динамическими объектами [5].

Проблематика информационной диагностики авиационной техники описана в работах [1–4, 6–8], в которых применимы различные методики определения неисправностей авиационной техники, в том числе, и авиационных двигателей. Применение нейронных сетей в решении задач управления динамическими системами выполняются учеными и исследователями НТУ «ХПИ» [9, 10], в работах которых продемонстрирован высокий потенциал объединения двух вычислительных технологий – искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов для решения задач синтеза интеллектуальных систем управления.

Обширные исследования, посвященные вопросам управления нелинейными динамическими объектами с помощью искусственных нейронных сетей, проводятся в ХНУРЭ [11]. Особое внимание уделяется усовершенствованию методов обучения нейронных сетей, идентификации нелинейных нестационарных объектов с помощью нейронных сетей, синтеза нейросетевых систем управления нелинейными объектами.

Ключевые слова: моделирование, техническое состояние, вертолет Ми-8МТВ, информационно-диагностическая система, нейронные сети, авиационный двигатель, генетические алгоритмы.

YU.N. SHMELEV, S.I. VLADOV, S.N. BOYKO, Y.R. KLIMOVA

Kremenchuk Flight College of the National Aviation University

S.YA. VISHNEVSKY

Vinnytsia National Technical University

DIAGNOSTICS OF THE STATE OF THE MI-8MTV HELICOPTER WITH THE USE OF NEURAL NETWORKS

Proceeding from the fact that during the last decades the number of accidents of the Mi-8MTV helicopter amounted to several tens, an actual scientific and practical task is diagnostics and prediction of changes in the state of engine operation. At present, there are a large number of approaches to the problem of diagnosing complex dynamic objects, which include the aircraft engine of the Mi-8MTV helicopter, the most common of which is information diagnostics [1–4], one of which methods is the use of neural networks.

The use of neural networks of control makes it possible to largely remove the mathematical problems of analytical synthesis and analysis of the properties of the object under study. This is because the quality of control processes in neural systems depends more on the fundamental properties of multilayer nonlinear neural networks, rather than on analytically calculated optimal laws, usually implemented as a computer program. Multilayer neural networks have a number of advantages, which causes their application in the tasks of managing dynamic objects [5].

The problem of information diagnostics of aviation equipment is described in [1–4, 6–8], in which various methods are used to determine the malfunctions of aviation equipment, including aircraft engines. The use of neural networks in solving the problems of control of dynamic systems is performed by scientists and researchers of NTU "KhPI" [9, 10], in which the high potential of combining two computational technologies - artificial neural networks and genetic algorithms for solving problems of synthesis of intelligent control systems.

Extensive research devoted to the management of nonlinear dynamic objects using artificial neural networks is carried out at KNURE [11]. Particular attention is paid to improving the methods of training neural networks, identifying non-linear non-stationary objects with the help of neural networks, and the synthesis of neural network control systems for nonlinear objects.

Key words: modeling, technical condition, Mi-8MTV helicopter, information-diagnostic system, neural networks, aircraft engine, genetic algorithms.

Постановка задачи

Целью работы является разработка нейронной сети, которая будет учитывать основные технические и эксплуатационные характеристики двигателя вертолета Ми-8МТВ, с целью диагностики и прогнозирования его состояния, при этом сократив время расчетов и увеличив уровень достоверности результатов.

Материал и результаты исследований

Исходя из того, что при диагностике двигателя вертолета Ми-8МТВ необходимо учитывать ряд параметров (давления воздуха на входе в двигатель (x1), температура воздуха на входе в двигатель (x2),

частота вращения вентилятора (x3), давление воздуха за компрессором (x4), частота вращения компрессора (x5), температура газа за турбиной (x6), давление газа за турбиной (x7), уровень масла в масляной системе (x8), наличие стружки в масле (x9), воспламенение топлива в камере сгорания (x10), температура топлива на входе в двигатель (x11), давление топлива на входе в двигатель (x12), температура масла на входе в двигатель (x13), давление масла на входе в двигатель (x14), диаметр критического сечения сопла (x15), вибрация корпуса двигателя (x16), помпаж двигателя (x17)) [12], при этом необходимо оперативно по заданной функции рассчитать выходное состояние двигателя при текущем режиме работы.

Наиболее оптимальным методом решения поставленной задачи является применение нейронных сетей, что позволит сократить время расчетов, при этом увеличив уровень достоверности результатов [13, С. 11–12].

Принимается, что вышеперечисленные параметры образуют многослойную нейронную сеть с $n = 17$ входами и одним выходом (рис. 1). Каждый i -й нейрон первого слоя ($i = 1, 2, \dots, m = 17$) имеет $n = 17$ входов, которые прописаны весами $w_{1i}, w_{2i}, \dots, w_{ni}$.

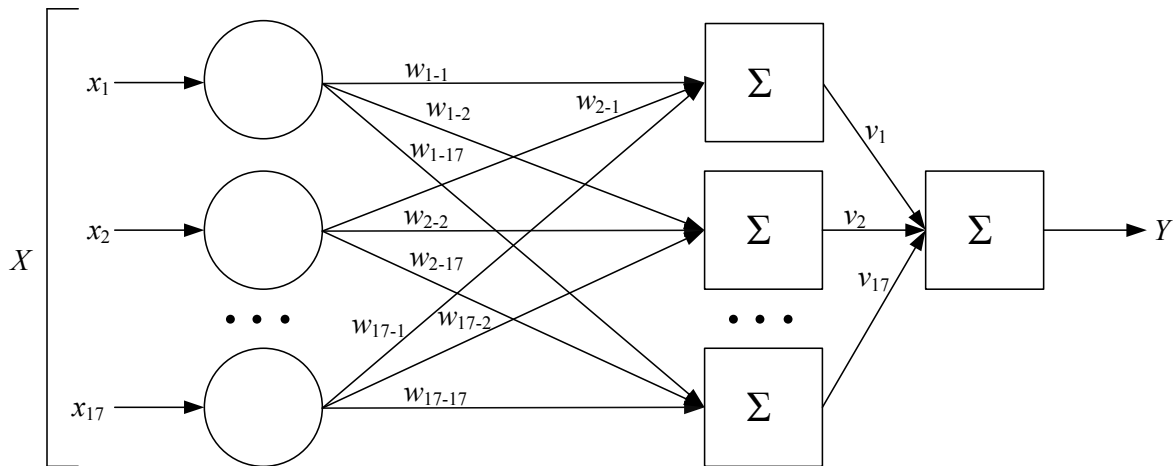


Рис. 1. Структура нейронной сети для реализации диагностики состояния двигателя вертолета Ми-8МТВ

Подавая на входы любые числа $x_1, x_2, \dots, x_{17}$, получим на выходе значение некоторой функции $Y = F(x_1, x_2, \dots, x_{17})$, которое является ответом (реакцией) сети. Известно, что ответ сети зависит как от входного сигнала, так и от значений ее внутренних параметров – весов нейронов, то есть:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_{17}) = \sum_{i=1}^{m=17} v_i \sigma \left(\sum_{j=0}^{n=17} x_j w_{ji} \right); \quad (1)$$

где $F(x_1, x_2, \dots, x_{17})$ – любая непрерывная функция, определенная на ограниченном множестве;

$\sigma(s) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha s}}$ – сигмоидальная функция.

Применив теорему Колмогорова $F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^{2n+1} g_i \left(\sum_{j=1}^n h_{ij}(x_j) \right)$, где g_i и h_{ij} –

непрерывные функции, причем h_{ij} не зависит от функции F , для 8 переменных, выяснено, что для реализации функции восьми переменных достаточно операций суммирования и композиции функции одной переменной.

Поскольку самым важным свойством нейронных сетей является их возможность обучаться на основе данных об объекте исследования и, в результате обучения, повышать свою функциональность, предлагается применить адаптивный шаг обучения нейронной сети, который реализуется в виде градиентного метода [14], в котором изменение весов описывается зависимостью:

$$\overrightarrow{w_{k+1}} = \overrightarrow{w_k} + \eta_k \overrightarrow{p_k}; \quad (2)$$

где η_k – размер шага на k -ой итерации, а вектор p_k задает направление движения и вычисляется по формуле:

$$\overrightarrow{p_k} = \overrightarrow{g_k} + \sum_{i=1}^{\min(k-1, m)} \beta_i \overrightarrow{g_{k-i}}; \quad (3)$$

где вектор g_j задает направление антиградиента на j -ой итерации; β_i – коэффициент, определяющий вес i -го градиента; m определяет кол-во запоминаемых градиентов; k – порядковый номер текущей итерации.

Градиентный метод обучения из (3) получается при $m = 0$, а методы сопряженных градиентов,

которые наиболее часто употребляются при обучении нейронных сетей, получаются путем суммирования всех предыдущих направлений (при $m = \infty$).

Данный метод обучения сводит к минимуму вмешательство человека в обучение нейронных сетей, что делает его привлекательным, поскольку не каждый пользователь нейросетевых технологий владеет знаниями в области методов оптимизации. Кроме этого метод является гибким и настраиваемым на обучающую выборку методом обучения.

Обучение же нейронной сети с постоянным шагом осуществляется с помощью правила Хебба, которое заключается в том, что обучение происходит в результате усиления силы связи (синаптического веса) между одновременно активными нейронами. Исходя из этого, часто используемые в сети связи усиливаются, что объясняет феномен обучения путем повторения и привыкания. Правило обучения Хебба записывается следующим образом [15, С. 39–40]:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + x_i y_j; \quad (4)$$

при этом предполагается, что $w_{ij}(0) = 0$, где t – время; x_i и y_j – соответственно выходное значение i -го и j -го нейронов.

Постоянный шаг обучения нейронной сети также реализуется с помощью процедуры обучения Розенблатта (обучение персептрона), которая характеризуется тем, что весовые коэффициенты нейронной сети изменяются только в том случае, если выходная реакция сети y не совпадает с эталонной d , и содержит скорость обучения a и не изменяет весовые коэффициенты, если выходные сигналы сети совпадают с эталонными. Правило обучения Розенблатта в общей форме имеет вид [15, С. 42–45]:

$$W(t+1) = W(t) - a(y - t)X = W(t) + a(t - y)X. \quad (5)$$

Для обучения разработанной нейронной сети недостаточно сформировать обучающие наборы входов-выходов. Необходимо также определить ошибку предсказаний сети. Ошибка сети представляется в виде функции от синаптических коэффициентов и минимизируется одним из градиентных методов. Традиционно используют среднеквадратичную ошибку (суммирование производится по всем выходам):

$$E = \frac{1}{2}(y - d)^2; \quad (6)$$

где y – выход нейронной сети; d – желаемое значение выхода.

Таким образом, применение адаптивного алгоритма является более гибким решением при обучении разработанной нейронной сети.

Синтез нейросетевой системы управления двигателя вертолета Ми-8МТВ проводился с помощью пакета прикладных программ Neural Network Toolbox системы MATLAB, в которой реализовано три нейрорегулятора: регулятор прогноза NN Predictive Controller; регулятор на основе модели авторегрессии со скользящим средним NARMA-L2 Controller; регулятор на основе эталонной модели Model Reference Controller.

Для решения поставленной задачи наиболее эффективно NN Predictive Controller. Регулятор использует модель управляемого объекта в виде нейронной сети для того, чтобы спрогнозировать его будущее поведение. Кроме того, регулятор вычисляет сигнал управления, который оптимизирует поведение объекта на заданном интервале времени. Итак, проектирование нейрорегулятора состоит из двух этапов: этап идентификации управляемого объекта и этапа синтеза закона управления. На этапе идентификации разрабатывается модель управляемого объекта в виде нейронной сети, которая на этапе синтеза используется для синтеза регулятора [5].

На рис. 2 показана структурная схема предлагаемой нейросетевой системы управления двигателем вертолета Ми-8МТВ, разработанная в Simulink. Эта структура включает блок управляемого объекта (Subsystem) и блок регулятора NN Predictive Controller, а также блоки генерации эталонного ступенчатого сигнала со случайной амплитудой Random Reference, блок построения графиков.

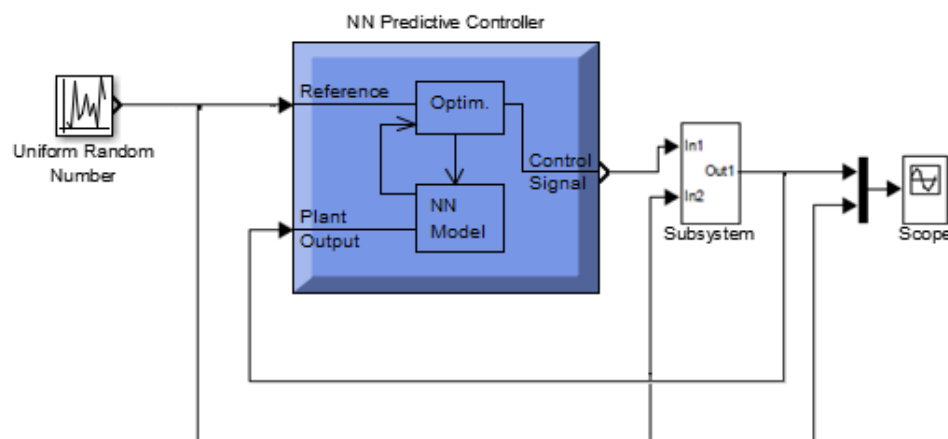


Рис. 2. Схема системы управления двигателем вертолета Ми-8МТВ с нейрорегулятором NN Predictive Controller

Программа генерации учебной последовательности генерирует учебные данные путем воздействия ряда случайных ступенчатых сигналов на модель Simulink управляемого объекта (двигателя). Графики входного и выходного сигналов объекта управления выводятся на экран (рис. 3). После окончания генерации обучающей последовательности предполагается или принять данные, сгенерированные, либо отказаться от них.

Элементы нейронной сети соответствуют следующим параметрам: размер скрытого слоя $S = 17$, количество элементов запаздывания на входе модели $N_i = 2$, количество элементов запаздывания на выходе модели $N_j = 5$.

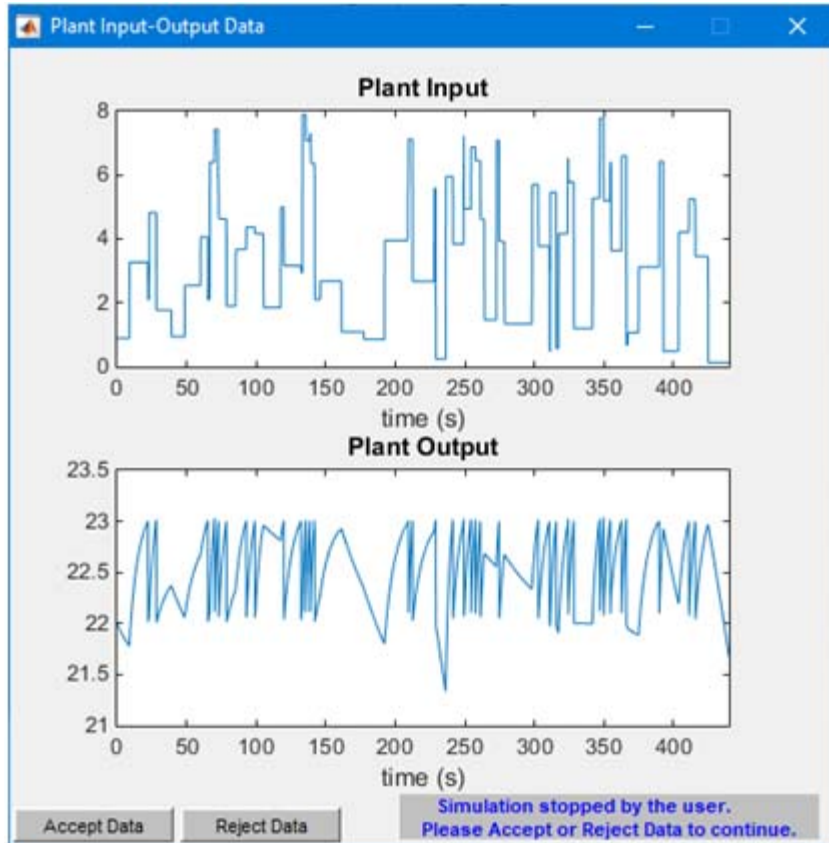


Рис. 3. Графики входного и выходного сигналов при генерации обучающей последовательности

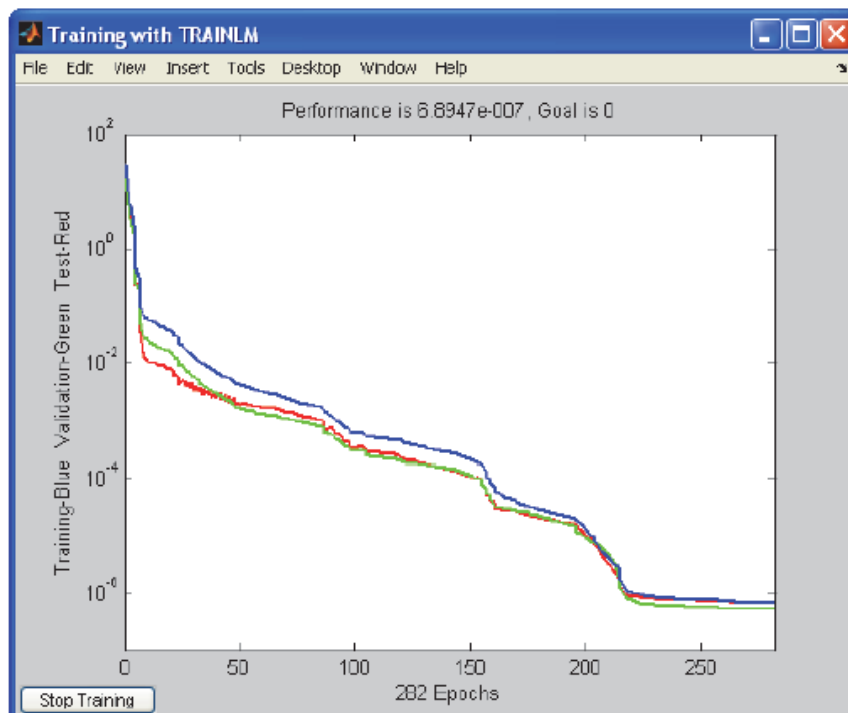


Рис. 4. Окно контроля процесса обучения

Известно, что в процессе обучения нейронной сети векторы входа представляются как числовые массивы выборок, что соответствует групповому представлению данных. Обучение осуществляется с использованием алгоритма Левенберга-Марквардта. Динамика изменения ошибки обучения, а также проверки на контрольном и тестовом множестве отображаются в окне, изображенном на рис. 4. После завершения обучения результаты отображаются на графиках, как это показано на рис. 5.

После завершения построения нейросетевой модели управляемого объекта происходит возврат к окну Neural Network Predictive Controller (рис. 2) и устанавливаются параметры оптимизации:

Const Horizon (N_2) – верхняя граница суммирования показателю качества N_2 , нижняя граница N_1 фиксирована и равна 1;

Control Horizon (N_u). Верхний предел суммирования при оценке мощности управления N_u ;

Control Weighting Factor (ρ). Коэффициент веса для мощности управления;

Search parameter (α). Параметр одномерного поиска, задающий порог уменьшения показателя качества;

Minimization Routine. Выбор процедуры одномерного поиска;

Iterations Per Sample Time. Число итераций на 1 такт дискретности.

При синтезе системы варьируются все вышеперечисленные величины, а также процедура одномерного поиска. Как показали исследования [5], величины N_u , ρ и α незначительно влияют на результаты синтеза и приняты: $N_u = 2$, $\rho = 0,05$ и $\alpha = 0,001$.

Значение N_2 и γ оказывают существенное влияние на работу системы [5]. При их увеличении точность возрастает, однако объем вычислений на каждом такте дискретности существенно увеличивается. Для решаемой задачи оптимальные значения находятся в пределах $N_2 = 15 \dots 25$ и $\gamma = 2 \dots 3$.

При идентификации двигателя наиболее важным вопросом является выбор количества нейронов скрытого слоя S . При малом количестве нейронов сеть не может выполнять поставленную задачу, а при большом наблюдается явление переобучения и растет объем вычислений. Для данной задачи оптимальные значения $S = 9 \dots 14$, при этом ошибка обучения, а также ошибка на контрольном и тестовом множестве ε не превышают $10^{-5} \dots 10^{-4}$.

Успех тренировки сети в значительной степени зависит от длины обучающей выборки N_B и такта дискретности, определяет интервал между двумя последовательными моментами съема данных. Оптимальным в решаемой задаче являются: $N_B = 10000$ и $\Delta t = 0,05$ с. При увеличении снижается точность, исчезает и разница между ошибкой обучения и ошибкой, полученной на контрольном и тестовом множестве. Уменьшение Δt вызывает необходимость соответствующего увеличения N_B и, как следствие, значительно увеличивается время тренировки сети, при этом существенного снижения ε не наблюдается.

Для получения представительной выборки необходимо правильно задать максимальное и минимальное значение интервала идентификации. Размер их зависит от параметров объекта Subsystem; в данной работе принято $t_{\min} = 4 \dots 5$ с, $t_{\max} = 10 \dots 20$ с.

При синтезе нейросетевой модели системы задается количество элементов запаздывания на входе z_1 и выходе z_2 модели. Наилучшие результаты получены при $z_1 = 2$, $z_2 = 2 \dots 4$.

Результат тренировки сети зависит от начального значения весов нейронной сети w_{ij} и количества циклов обучения $N_{\text{цикл}}$. Для достижения глобального минимума процесс обучения необходимо повторять много раз при различных начальных значениях w_{ij} и величине $N_{\text{цикл}}$. В данной работе для каждого варианта сети выбиралось несколько десятков начальных точек расчета, количество циклов обучения, по окончании которых ошибка обучения переставала уменьшаться, составляло 300...400.

Выводы

В статье выполнен синтез нейрорегулятора прогноза NN Prediction Controller для решения задачи диагностики состояния двигателя вертолета Ми-8МТВ в реальных режимах работы путем разработки модели нейросетевой системы в Simulink программного пакета MATLAB. Также установлено, какие

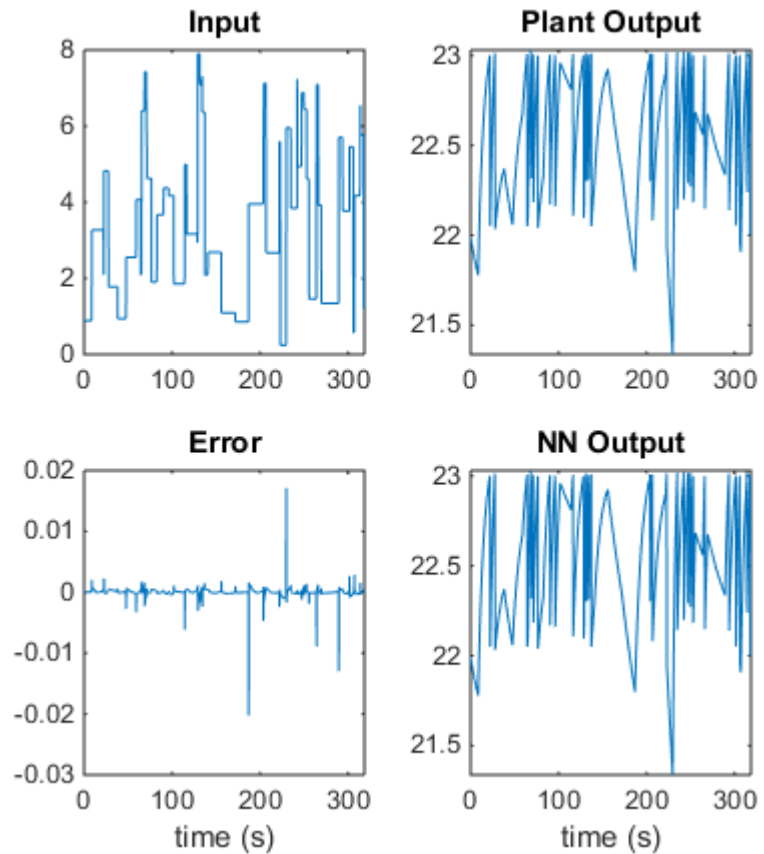


Рис. 5. Результаты тренировки модели

параметры существенно влияют на качество регулирования и определены оптимальные значения параметров.

Использование нейросетевой модели объекта управления обеспечивает высокое качество идентификации и оптимальных значений параметров позволило синтезировать нейрорегулятор, который обеспечивает высокие динамические характеристики системы.

Литература

1. Диагностика и неразрушающий контроль летательных аппаратов и авиадвигателей / [Пивоваров В. А., Машошин О. Ф., Хрустиков С. Г., Санников А. В.]. – М. : МГТУ ГА, 2011. – 89 с.
2. Машошин О. Ф. Информационное обеспечение процессов диагностирования авиационной техники / О. Ф. Машошин, А. В. Бигус // Научный вестник МГТУ ГА. – М. : МГТУ ГА, 2002. – № 49. – С. 44–48.
3. Машошин О. Ф. Информационное обеспечение процессов диагностирования авиадвигателей / О. Ф. Машошин // ЕТАК : материалы научн. трудов конф. – Егорьевск, 2001. – С.15–16.
4. Машошин О. Ф. Диагностика авиационной техники : учебное пособие / О. Ф. Машошин. – М. : МГТУ ГА, 2007. – 141 с.
5. Синтез нейрорегулятора NN Predictive Controller для управління трьохмасовою електромеханічною системою / [Василець Т. Ю., Варфоломійєв О. О., Тютюн Р. В., Алфьоров Ю. О., Власов А. О.] // Системи обробки інформації. – 2017. – Випуск 3 (149). – С. 88–95.
6. Машошин О. Ф. Инструментальные методы диагностики авиационной техники : учебное пособие / О. Ф. Машошин. – М. : МГТУГА, 2010. – 88 с.
7. Машошин О. Ф. Диагностика авиационного газотурбинного двигателя по наличию вредных примесей в системе кондиционирования воздуха / О. Ф. Машошин, Г. С. Зонтов // Научный вестник МГТУ ГА. – М. : МГТУ ГА, 2014. – № 205. – С. 44–48.
8. Пивоваров В. А. Применение аппарата теории статистической классификации к задачам диагностирования авиационной техники / В. А. Пивоваров, О. Ф. Машошин // Научный вестник МГТУ ГА. – М. : МГТУ ГА, 1999. – № 20. – С. 25–30.
9. Клепиков В. Б. Применение методов нейронных сетей и генетических алгоритмов в решении задач управления электроприводами / В. Б. Клепиков, К. В. Махотило, С. А. Сергеев // Электротехника. – 1999. – № 5. – С. 2–6.
10. Нейро-фаззи регулятор для электроприводов спускальзаванием / [Клепиков В. Б., Клепиков А. В., Глебов О. Ю., Моисеенко П. Л., Полянская И. С.] // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ«ХПІ», – 2002. – Т.4. – № 9. – С. 47–52.
11. Руденко О. Г. Основы теории искусственных нейронных сетей / О. Г. Руденко, Е. В. Бодянский. – Харьков : ТЕЛЕТЕХ, 2002. – 317 с.
12. Лила В. Б. Алгоритм и программная реализация адаптивного метода обучения искусственных нейронных сетей / В. Б. Лила // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 19. – № 1. – С. 55–59.
13. Головкин В. А. Нейронные сети: обучение, организация и применение. Книга 4 : учебное пособие для вузов / В. А. Головкин. – М. : ИПРЖР, 2001. – 256 с.

References

1. Diagnostika i nerazrushajushij kontrol' letatel'nyh apparatov i aviadvigatel'ej / [Pivovarov V. A., Mashoshin O. F., Hrustikov S. G., Sannikov A. V.]. – M. : MGTU GA, 2011. – 89 s.
2. Mashoshin O. F. Informacionnoe obespechenie processov diagnostirovaniya aviacionnoj tehnik / O. F. Mashoshin, A. V. Bigus // Nauchnyj vestnik MGTU GA. – M. : MGTU GA, 2002. – № 49. – S. 44–48.
3. Mashoshin O. F. Informacionnoe obespechenie processov diagnostirovaniya aviadvigatel'ej / O. F. Mashoshin // ETAK : materialy nauchn. trudov konf. – Egor'evsk, 2001. – S.15–16.
4. Mashoshin O. F. Diagnostika aviacionnoj tehnik : uchebnoe posobie / O. F. Mashoshin. – M. : MGTU GA, 2007. – 141 s.
5. Sintez nejroreguljatora NN Predictive Controller dlja upravlinnja tr'ohmasovuju elektromehaničnuju sistemoju / [Vasilec' T. Ju., Varfolomiev O. O., Tjutjun R. V., Al'forov Ju. O., Vlasov A. O.] // Sistemi obrobki informacii. – 2017. – Vipusk 3 (149). – S. 88–95.
6. Mashoshin O. F. Instrumental'nye metody diagnostiki aviacionnoj tehnik : uchebnoe posobie / O. F. Mashoshin. – M. : MGTUGA, 2010. – 88 s.
7. Mashoshin O. F. Diagnostika aviacionnogo gazoturbinnogo dvigatelja po nalichiju vrednyh primesej v sisteme kondicionirovaniya vozduha / O. F. Mashoshin, G. S. Zontov // Nauchnyj vestnik MGTU GA. – M. : MGTU GA, 2014. – № 205. – S. 44–48.
8. Pivovarov V. A. Primenenie apparata teorii statisticheskoj klassifikacii k zadacham diagnostirovaniya aviacionnoj tehnik / V. A. Pivovarov, O. F. Mashoshin // Nauchnyj vestnik MGTU GA. – M. : MGTU GA, 1999. – № 20. – S. 25–30.
9. Klepikov V. B. Primenenie metodov nejronnyh setej i geneticheskikh algoritmov v reshenii zadach upravlenija jelektroprivodami / V. B. Klepikov, K. V. Mahotilo, C. A. Sergeev // Jelektrotehnika. – 1999. – № 5. – S. 2–6.
10. Neiro-fazzi reguljator dlja jelektroprivodov sproskal'zyvaniem / [Klepikov V. B., Klepikov A. V., Glebov O. Ju., Moiseenko P. L., Poljanskaja I. S.] // Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu «Harkiv'skij politehničnij institut». – Harkiv : NTU«HPI». – 2002. – T.4. – № 9. – S. 47–52.
11. Rudenko O. G. Osnovy teorii iskusstvennyh nejronnyh setej / O. G. Rudenko, E. V. Bodjanskij. – Har'kov : TELETEH, 2002. – 317 s.
12. Lila V. B. Algoritm i programmnaja realizacija adaptivnogo metoda obuchenija iskusstvennyh nejronnyh setej / V. B. Lila // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2012. – T. 19. – № 1. – S. 55–59.
13. Golovko V. A. Nejrornyie seti: obuchenie, organizacija i primenenie. Kniga 4 : uchebnoe posobie dlja vuzov / V. A. Golovko. – M. : IPRZhR, 2001. – 256 s.

Рецензія/Peer review : 03.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАТЫ ROBOTDYN MEGA2560 PRO ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПОЛЕТНОГО КОНТРОЛЛЕРА ГЕКСАКОПТЕРА

Разработан беспилотный летательный аппарат (БПЛА) на базе Ардуино совместимой платы RobotDyn Mega2560 Pro, 6-ти осевого гироскопа-акселерометра MPU6050, 3-х осевого компаса HMC5883L, барометра/высотомера MS5611/BMP180, GPS приемника u-blox NEO-6M. В качестве прошивки используется совместимая с ардупилотом (APM 2.6) прошивка MegapirateNG ver. 3.1.5R2. Прошивка корректировалась в зависимости от используемых датчиков в полетном контроллере. В качестве рамы используется шести моторный мультиротор - гексакоптер. Спроектированный гексакоптер способен выполнять следующие полетные режимы: Stabilize - выполняется взлет и посадка. Задействованы гироскоп и акселерометр для удержания горизонта. Компас используется дополнительно для контроля и коррекции; AltHold - удержания высоты. Здесь использован барометр, который способствует удержанию высоты по давлению воздуха; Land - автоматическая посадка в текущем положении. Используется барометр для контроля высоты; Simple - это режим, который позволяет «забыть» об ориентации БПЛА относительно пилота. В данном режиме важным является компас; Loiter - здесь выполняется удержания точки (по координате и высоте). Использует GPS. Режим используется для фото и видеосъемки; RTL (Return To Launch) — возврат домой, в точку взлета. Контроллер запоминает точку, где произведен Arming и позволяет вернуть БПЛА в эту точку; Auto — полет по точкам миссии. Миссия создается вручную с помощью программного обеспечения наземной станции перед полетом; Failsafe — режим спасения, который отправляет БПЛА домой (в точку, где произведен запуск двигателей - Arming) в случае потери связи с наземной станцией. Было установлено, что у регуляторов Hobbyrpower ESC-30A, Readytosky ESC-30A с собственными прошивками наблюдаются срывы синхронизации при оборотах ниже средних. Поэтому при резком сбросе оборотов возможна остановка двигателя, что приведет к аварии коптера. Экспериментально установлена ненадежная работа регуляторов Hobbyrpower ESC-30A и Readytosky ESC-30A, которые самопроизвольно сбрасывали настройки, например при температурах ниже +15C и при включении коптера. В связи с этим в работе была выполнена перепрошивка этих регуляторов коптерной прошивкой Simonk, что обеспечило высокую устойчивость полета. Рассмотрена также настройка GPS модуля GY-GPS6MV2 программой u-center, что обеспечило устойчивый полет гексакоптера по путевым точкам в автоматическом режиме. Экспериментально показана не существенная разница в использовании барометров MS5611 и BMP180 в режиме удержания высоты для прошивки MegapirateNG 3.1.5R2.

Ключевые слова: APM 2.6, Mission Planner, ESC, ATmega2560, u-blox NEO-6M, u-center, MegapirateNG3.1.5R2, Hobbyrpower ESC-30A, Readytosky ESC-30A, GY-521, GY-63/GY-68, GY-273, GY-GPS6MV2, RobotDyn Mega2560 Pro.

A.A. MYASISHEV

Khmelnytsky National University

USE OF ROBOTDYN MEGA2560 PRO FOR BUILDING THE FLIGHT CONTROLLER OF HEXACOPTER

An unmanned aerial vehicle (UAV) based on Arduino compatible RobotDyn Mega2560 Pro board, 6-axis MPU6050 accelerometer gyro, 3-axis compass HMC5883L, barometer/altimeter MS5611/BMP180, GPS receiver u-blox NEO-6M was developed. As the firmware compatible with the ardupilotom (APM 2.6) firmware MegapirateNG ver. 3.1.5R2. The firmware was adjusted depending on the sensors used in the flight controller. As a frame, six motor multitorts - hexakopter - are used. The designed hexacopter is able to perform the following flight modes: Stabilize - take off and landing. A gyroscope and an accelerometer are used to hold the horizon. The compass is used additionally for monitoring and correction; AltHold - hold height. Here a barometer is used that helps maintain the altitude by the air pressure; Land - automatic landing in the current position. A barometer is used to control altitude; Simple is a mode that allows you to "forget" the orientation of the UAV relative to the pilot. In this mode, the compass is important; Loiter - here the point is held (by coordinate and height). Uses GPS. The mode is used for photo and video shooting; RTL (Return To Launch) - return home, to the point of take-off. The controller remembers the point where Arming is produced and allows to return the UAV to this point; Auto - flight to the points of the mission. The mission is created manually using ground station software before the flight; Failsafe is a rescue mode that sends the UAV home (to the point where the engine starts - Arming) in case of loss of communication with the ground station. It was found that the Hobbyrpower ESC-30A regulators, the Readytosky ESC-30A with its own firmware, there are synchronization failures at lower than average speeds. Therefore, with a sudden reset of the revolutions, it is possible to stop the engine, which will lead to a Copter accident. The unreliable work of the Hobbyrpower ESC-30A and Readytosky ESC-30A regulators was experimentally installed, which spontaneously reset the settings, for example, at temperatures below + 15C and when the copter is turned on. In this regard, the work was performed by flashing these regulators with Simonk's copier stitching, which ensured high flight stability. The configuration of the GPS module GY-GPS6MV2 with the u-center program was also considered, which ensured a stable flight of the hexacopter along the waypoints in automatic mode. An experimental difference is shown in the use of the MS5611 and BMP180 barometers in the altitude hold mode for MegapirateNG 3.1.5R2 firmware.

Keywords: APM 2.6, Mission Planner, ESC, ATmega2560, u-blox NEO-6M, u-center, MegapirateNG3.1.5R2, Hobbyrpower ESC-30A, Readytosky ESC-30A, GY-521, GY-63 / GY-68, GY-273, GY-GPS6MV2, RobotDyn Mega2560 Pro.

Постановка задачи

В настоящее время большой интерес представляют беспилотные летающие роботы, построенные на базе мультироторов. Среди них наибольшее распространение имеют квадрокоптеры (4 мотора). В меньшей степени распространены гексакоптеры (6 мотора) и ортокоптеры (8 моторов), которые по сравнению с квадрокоптерами имеют большую подъемную силу и устойчивость. Например, при выходе из строя одного мотора они в состоянии дальше следовать по маршруту полета. Сейчас эти мультироторные беспилотные летательные аппараты используются для исследования местности, для проведения спасательных операций

МЧС, в работе пожарных служб, военной разведки. Они могут быть использованы для доставки небольших грузов на расстояние не более 5-7 км со скоростью 30-40 км/час. Применяются фотоаппаратами и операторами для съемки пейзажей, архитектуры, видеороликов. Целью работы является построение БПЛА, который способен выполнять следующие основные полетные режимы:

1. Stabilize — в этом режиме выполняется взлет и посадка. Задействованы гироскоп и акселерометр для удержания горизонта. Компас используется дополнительно для контроля и коррекции.
2. AltHold — режим удержания высоты. В данном режиме добавляется использование барометра, который способствует удержанию высоты по давлению воздуха.
3. Land — режим автоматической посадки в текущем положении. Используется барометр для контроля высоты.
4. Simple — режим, который позволяет «забыть» об ориентации БПЛА относительно пилота. В данном режиме самым важным является компас.
5. Loiter — режим удержания точки (по координате и высоте). Использует GPS. Режим хорошо подходит для фото и видеосъемки.
6. RTL (Return To Launch) — возврат домой, в точку взлета. Контроллер запоминает точку, где произведен Arming и позволяет вернуть БПЛА в эту точку.
7. Auto — полет по точкам миссии. Миссия должна создаваться вручную с помощью программного обеспечения наземной станции перед полетом.
8. Failsafe — режим спасения, который отправляет БПЛА домой (в точку, где произведен запуск двигателей - Arming). Например, в случае потери связи с наземной станцией.

БПЛА должен быть построен на базе мультиротора с 6-ю двигателями и рамой типоразмера F550 с расположением моторов X-FRAME.

В настоящее время разработано большое количество полетных контроллеров с программным обеспечением. Это Multiwii, ArduCopter (APM 2.6, APM 2.8, PixHawk), контроллеры DJI (Naza-M Lite, DJI Naza-M V2, DJI Wookong), MicroKopter, Zero UAV X4/X6, AutoQuad, KK., XAircraft и др. Однако далеко не все они отвечают поставленной задаче.

Изложение основного материала работы

Для решения поставленной задачи необходим правильный выбор полетного контроллера совместно с программным обеспечением для его функционирования. В работе полетный контроллер построен на основе микроконтроллера Atmega2560 в составе платы RobotDyn Mega2560 Pro, 6-ти осевого гироскопа-акселерометра MPU6050, 3-х осевого компаса HMC5883L, барометра/высотометра MS5611/BMP180, GPS приемника u-blox NEO-6M. Плата RobotDyn Mega2560 Pro представляет собой уменьшенную версию Arduino Mega2560 R3 при аналогичных характеристиках, производительности и наличии всех портов, которые имеет Arduino Mega2560 R3 (рис.1).

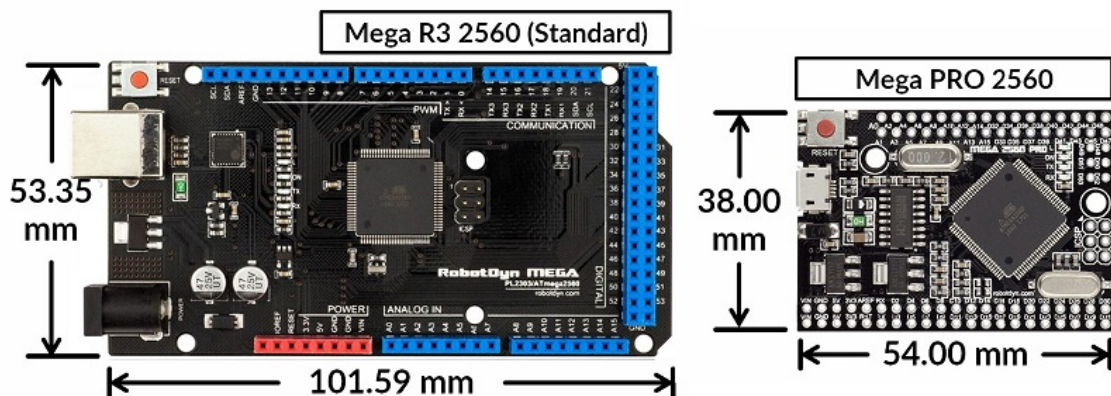


Рис.1. Сопоставление плат Arduino Mega2560 R3 и Mega2560 Pro

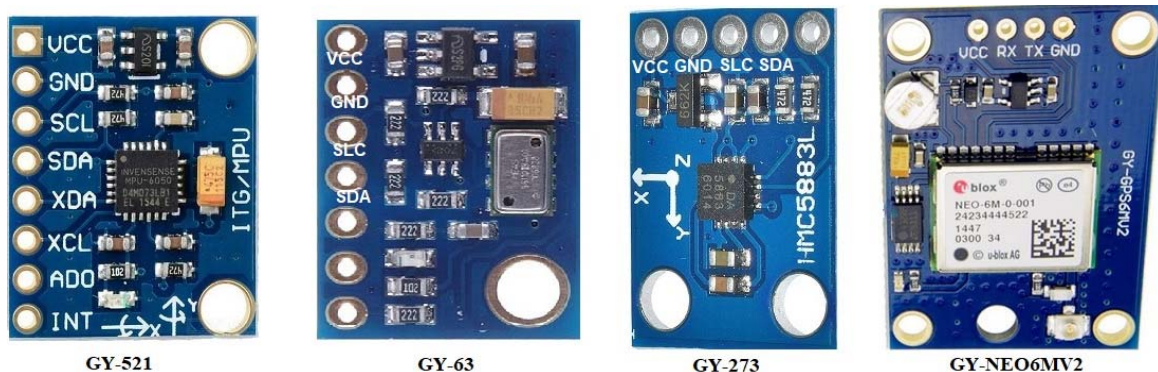


Рис.2. Датчики, используемые для построения полетного контроллера

Из рисунка 1 видно, что из-за значительно меньших размеров при сходных характеристиках для полетного контроллера целесообразно использовать меньшую по размеру плату Mega2560 Pro. Для сборки полетного контроллера необходимо выполнить подключение плат Mega2560 Pro, GY-521 - 6-ти осевого гироскопа-акселерометра MPU6050, GY-273 - 3-х осевого компаса HMC5883L, GY-63/GY-68 - барометра/высотометра MS5611/BMP180, модуля GY-NEO6MV2 - GPS приемника u-blox NEO-6M (рис.2).

На все рассматриваемые здесь датчики подается напряжение 5В. Подключение GY-521, GY-63/GY-68, GY-273 к Mega2560 Pro выполняется по шине I2C. Модуль GY-GPS6MV2(GY-NEO6MV2) подключается к второму последовательному интерфейсу RX2TX2. Датчик компаса должен находиться на расстоянии более 25 см от моторов и не менее 15 см выше плоскости, в которой расположены моторы. Экспериментально определено, что это приводит к отклонению показаний компаса при максимальной нагрузке моторов не более 2.0-2.5 градуса. Установка магнитометра в плоскости работы моторов приводит к отклонению до 25 градусов при отдалении от них на расстояние 25 см. На рисунке 3 показано подключение датчиков к плате Mega2560 Pro.

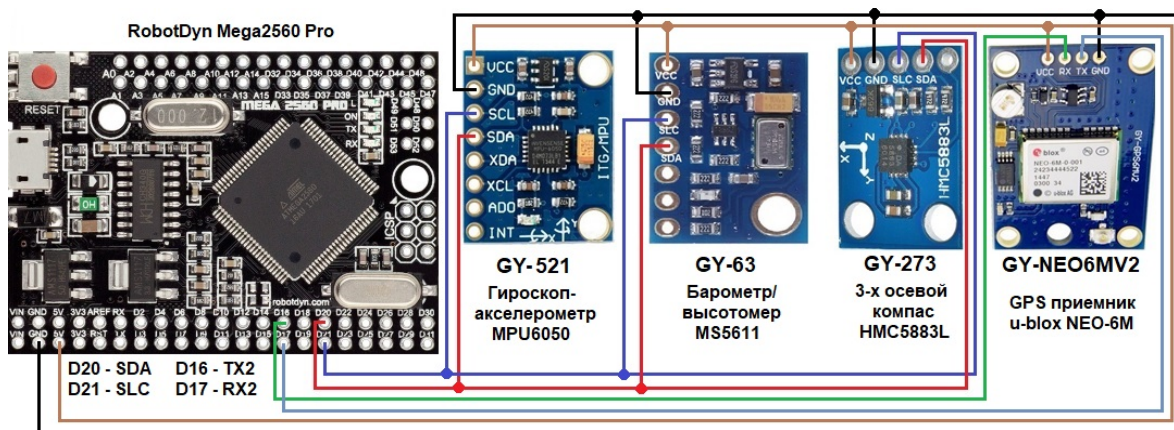


Рис.3. Подключение датчиков к микроконтроллеру

В случае использования более дешевого и менее точного барометрического датчика BMP180 (плата GY-68), подключение его выполняется аналогично GY-63

В работе управление гексакоптером выполняется с помощью шестиканальной аппаратуры FlySky FS-I6 и десятиканального приемника FS IA10. С целью расширения возможности управления аппаратура FlySky FS-I6 была перепрограммирована на 10 каналов[4]. В частности это позволило использовать два переключателя для установки шести режимов работы гексакоптера. На рисунке 4 показан приемник FS IA10 и его подключение к MEGA2560 PRO.

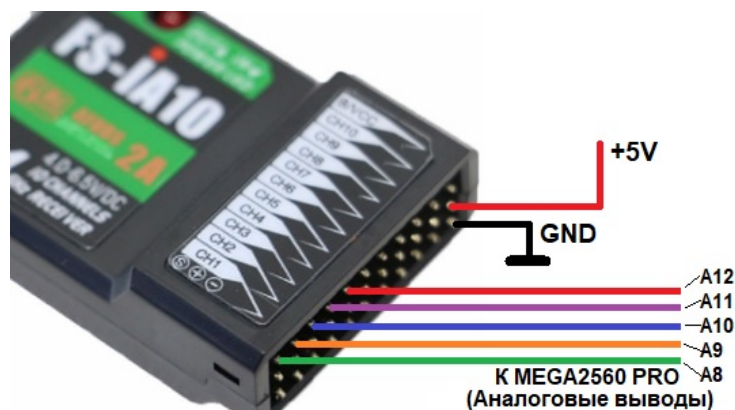


Рис.4. Подключение каналов приемника FS IA10 к аналоговым выводам Ардуино (MEGA2560 PRO)

Подключение моторов к полетному контроллеру выполняется через ESC регуляторы. В регуляторы встроены стабилизаторы напряжения на 5в, которые используются для отдельного питания полетного контроллера и приемника. На рисунке 5 показано подключение шестого мотора к полетному контроллеру через ESC.

К выводам D2, D3, D5, D6, D7, D8 подключаются моторы M1, M2, M3, M4, M5, M6 соответственно. В работе используется шесть моторов модели A2212/13T 1000V, каждый из которых с пропеллерами 10"x4.5" развивает тягу до 0.8кг. Моторы подключены через регуляторы моделей Hobbypower ESC-30A или Readytosky ESC-30A. Было замечено, что у этих регуляторов с их собственными прошивками наблюдаются срывы синхронизации при оборотах ниже средних. Поэтому при резком сбросе оборотов возможна остановка двигателя, что приведет к аварии коптера. Следует также отметить

ненадежную работу регуляторов Hobbypower ESC-30A и Readytosky ESC-30A китайского производителя, которые способны самопроизвольно сбрасывать настройки после программирования его через пульт управления БПЛА, а также они являются очень ненадежными в случае запуска при температуре ниже +15 град. Поэтому при подключении батареи перед запуском коптера необходимо внимательное прослушивание мелодии регулятора ESC о его готовности. Перечисленные выше замечания требуют выполнения перепрошивки перечисленных выше регуляторов. Опыт показал, что лучшей прошивкой для них при использовании преимущественно в коптере является прошивка Simonk [2]. На рисунке 6 представлено фото регулятора Hobbypower ESC-30A со снятой термоусадкой и показаны места для подключения программатора. Программирование ESC представлено в работе [3].



Рис. 5. Подключение шестого мотора к полетному контроллеру

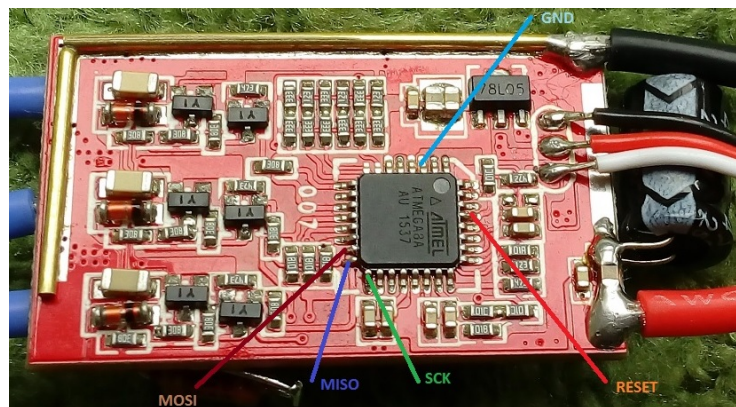


Рис.6. Фото регулятора Hobbypower ESC-30A со снятой термоусадкой

Расположение моторов на гексакоптере, их нумерация и направление вращения показаны на рисунке 7.

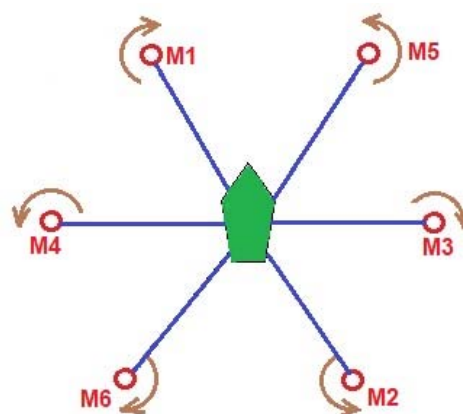


Рис.7. Нумерация моторов на гексакоптере

Для построения полноценного беспилотного летательного аппарата (БПЛА) необходимо выполнить правильное конфигурирование GPS модуля. Благодаря этому модулю БПЛА может выполнять в автоматическом режиме полет по заданной траектории, удерживать заданную позицию, выполнять автоматический возврат в точку старта, выполнять заданные действия при достижении точки с заданными координатами и т.д. Настройка в работе рассмотрена для распространенного GPS модуля u-blox NEO-6M (модуль GY-GPSM6V2), который подключен к полетному контроллеру на базе Arduino Mega256 с прошивками MegapirateNG, Ardupilot, Multiwii. Согласно литературным источникам[6] возможны два

способа настройки модуля. Первый способ использует конфигурационный файл, который используется для прошивки flash памяти GPS модуля u-blox NEO-6M, а второй способ основан на конфигурировании этого модуля с помощью программы u-center [5] с последующим формированием конфигурационного файла. На рисунке 8 показан конфигурируемый модуль с подключенным к нему конвертером USB TO TTL на основе микросхемы CH340. Конвертер необходим для подключения GPS модуля к компьютеру.

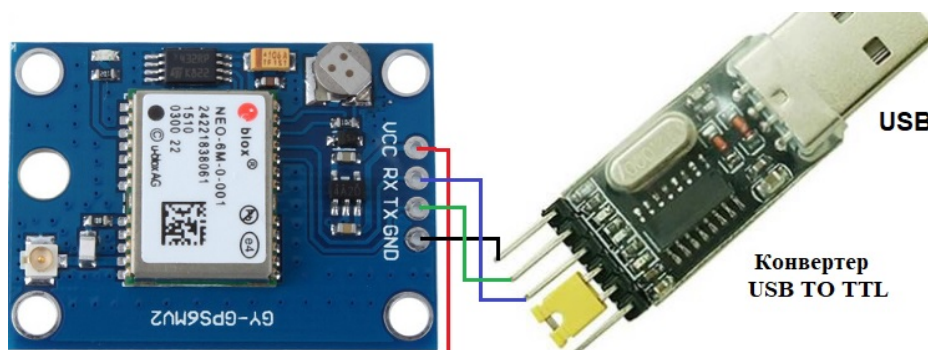


Рис.8. Конфигурируемый GPS модуль с помощью программы u-center

Для конфигурирования в программе U-center (ver. 8.21) необходимо перейти к Message view (View=>messages view). При дальнейшей работе с программой после каждого изменения параметров в окне необходимо в нижнем левом углу окна нажимать на кнопку Send (обведена красным на рисунке 9):

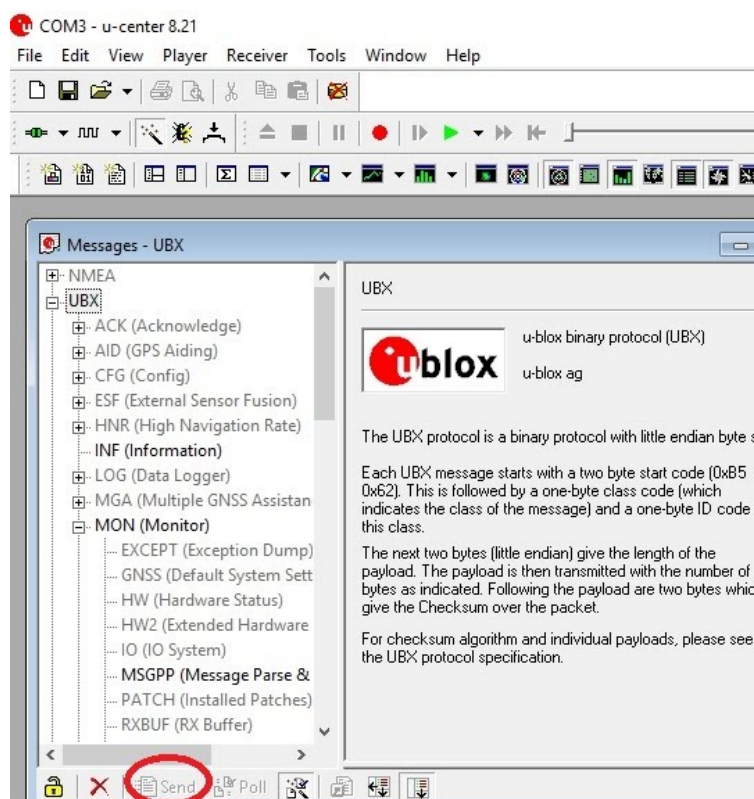


Рис. 9. Конфигурирование в программе u-center

Далее выполняются следующие действия:

1. Необходимо щелкнуть правой кнопкой мыши на слове NMEA в верхней части дерева и выбрать Disable Child Message. Слово NMEA должно поменять черный цвет на серый.
2. Выбрать UBX=>CFG=>NAV5 и установить модель динамической платформы для использования: 3 - Pedestrian, также установить Fix Mode 2 - 3D only. В этом случае приемник GPS начнет функционировать в трехмерной системе координат. Нажать внизу на кнопку Send.
3. UBX=>CFG=>PRT – установить USART1 на скорость 38400бит/с и установить все протоколы UBX+NMEA!! Нажать внизу на кнопку Send.
4. Изменить скорость порта программы U-center на 38400бит/с. Нажать внизу на кнопку Send.
5. UBX=>CFG=>RATE(Rates) – изменить период определения координат на 200мсек. Это позволит определять позицию с частотой 5Гц, т.е. 5 раз в секунду. Нажать внизу на кнопку Send.
6. UBX=>CFG=>SBAS: Disable (SBAS перевести в состояние выключено, так как это вызывает

серьезные случайные ошибки вычисления высоты). Нажать внизу на кнопку Send.

7. UBX=>NAV (но не UBX=>CFG=>NAV): здесь необходимо два раза кликнуть клавишей мыши на POSLLH, STATUS, VELNED. После этого их цвет должен измениться с серого на черный. Нажать внизу на кнопку Send.

8. UBX=>CFG=>CFG: выбрать save current config, нажать “send” в нижнем левом угле для постоянного сохранения настроек в приемнике.

9. Перейти в общем меню Receiver=> Action=> Save Config. Если этого не сделать приемник после следующего включения перейдет к первоначальным настройкам.

После этих настроек модуль GPS может быть использован на гексакоптере. На рисунке 10 показано фото собранного полетного контроллера, который установлен на гексакоптере с рамой F550.

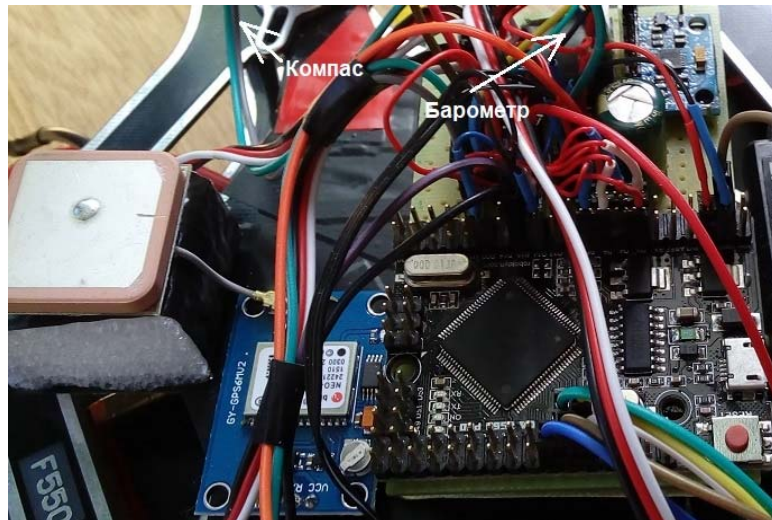


Рис.10. Фото полетного контроллера

Рассмотрим установку прошивки на полетный контроллер. В работе используется прошивка MegapirateNG ver.3.1.5R2. Прошивка будет сконфигурирована в зависимости от используемых датчиков и рамы коптера. Прошивка сгенерирована на компьютере с Windows ver.10. В работе используется следующая последовательность действий. Вначале создается папка на диске D: для размещения прошивки, например 2018_megapirate. С адреса <https://github.com/MegaPirateNG/ardupilot-mpng/tree/mpng-3.1-beta> копируется прошивка в созданный каталог. После разархивирования автоматически создается каталог ardupilot-mpng-mpng-3.1-beta в котором находится текст программ для компиляции в среде Arduino IDE ver. 1.0.3. С адреса <http://firmware.ardupilot.org/Tools/Arduino/> копируется измененный Arduino IDE (файл ArduPilot-Arduino-1.0.3-gcc-4.8.2-windows.zip) под ардукоптер. Распаковываем этот файл в папке для прошивки. Так как этот измененный Arduino IDE пропатчен, кроме ардукоптера ничего компилироваться не будет. С адреса <http://firmware.ardupilot.org/Tools/Arduino/> копируется MHV_AVR_Tools_20131101.exe, что представляет собой набор инструментов, которые будет использовать Arduino IDE для сборки и заливки прошивки. Здесь находится новый компилятор GCC, программатор avrdude. Этот файл запускается как обычная программа. Из корня папки с текстом программ ардукоптера ardupilot-mpng-mpng-3.1-beta копируется файл pde.jar в каталог ArduPilot-Arduino-1.0.3-windows/lib. Далее запускается Arduino IDE из папки ArduPilot-Arduino-1.0.3-windows. Устанавливается целевая платформа - компиляция для прошивки MegaPirateNG (рисунок 11).

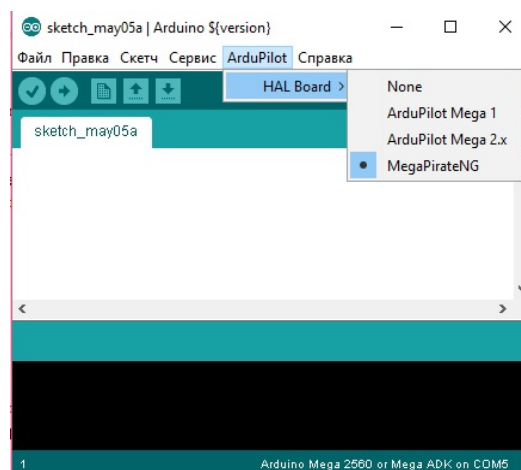


Рис.11. Установка целевой платформы компиляции

В меню файл->настройки устанавливаются опции "показывать подробный вывод при компиляции и загрузке", а также должна быть установлена опция "проверка кода после загрузки". Должна быть удалена опция "обновлять расширение скетчей на новое". Для копирования прошивки в микроконтроллер без ошибок целесообразно скопировать файл avrdude.conf из папки с установленным в Program files AVRtools, к примеру:

```
C:\Program Files (x86)\MHV AVR Tools\bin в папку:
C:\2018_megapirate\ArduPilot-Arduino-1.0.3-gcc-4.8.2-windows\ -Arduino-1.0.3-
windows\hardware\tools\avr\etc
```

Далее необходимо запустить Arduino IDE из папки C:\2018_megapirate\ArduPilot-Arduino-1.0.3-gcc-4.8.2-windows\ArduPilot -Arduino-1.0.3-windows. Открываем Arduino IDE. Выбираем скетч ардукоптера: Файл->Папка со скетчами->ArduCopter. Появится новое окно с исходниками, старое пустое окно закрываем. Проверяем тип контроллера в Arduino IDE: Сервис->Плата->Arduino Mega 2560 or Mega ADK. Проверяем в правом нижнем углу Arduino IDE надпись "Arduino Mega 2560 or Mega ADK on COM5", если порт не тот, или его нет, выставляем COM порт платы: Сервис->Последовательный порт.

Переходим к настройке прошивки. Для этого необходимо раскомментировать и изменять строки кода. Все файлы, которые открыты в Arduino IDE, можно менять здесь же. Другие файлы нужно изменять только сторонним редактором. Вначале редактируется файл APM_Config.h который открыт во второй вкладке. Выбираем плату:

```
#define MPNG_BOARD_TYPE CRIUS_V1
```

Вводим параметры GPS устройства:

```
// GPS port speed (Serial2) 38400 by default
```

```
#define SERIAL2_BAUD 38400
```

```
// GPS driver selection
```

```
#define GPS_PROTOCOL GPS_PROTOCOL_AUTO
```

При отсутствии GPS, можно поставить GPS_PROTOCOL_NONE. В этом случае гексакоптер не будет возвращаться домой и летать по точкам в автоматическом режиме.

Конфигурируем раму коптера - гексакоптер:

```
#define FRAME_CONFIG HEXA_FRAME
```

Запрещаем некоторые режимы работы прошивки:

```
#define CLI_ENABLED DISABLED // disable the CLI (command-line-
interface) to save 21K of flash space
```

```
#define LOGGING_ENABLED DISABLED // disable dataflash logging to save 11K
of flash space
```

```
#define OPTFLOW DISABLED // disable optical flow sensor to save 5K
of flash space
```

```
#define CONFIG_SONAR DISABLED // disable sonar to save 1k of flash
```

Представленные выше изменения справедливы в случае использования относительно дорогого и высокоточного барометра MS5611. Если используется барометр BMP180 необходимо дополнительно к вышеперечисленным изменениям сделать изменения в файле config.h в среде Arduino IDE, закомментировав две строки:

```
#if MPNG_BOARD_TYPE == HK_RED_MULTIWII_PRO || MPNG_BOARD_TYPE == BLACK_VORTEX
```

```
# define CONFIG_IMU_TYPE CONFIG_IMU_ITG3200
```

```
# define CONFIG_BARO AP_BARO_BMP085
```

```
#elif MPNG_BOARD_TYPE == PARIS_V5_OSD
```

```
# define CONFIG_IMU_TYPE CONFIG_IMU_ITG3200
```

```
# define CONFIG_BARO AP_BARO_MS5611
```

```
# define CONFIG_MS5611_SERIAL AP_BARO_MS5611_I2C
```

```
#else
```

```
# define CONFIG_IMU_TYPE CONFIG_IMU_MPU6000_I2C
```

```
// # define CONFIG_BARO AP_BARO_MS5611
```

```
// # define CONFIG_MS5611_SERIAL AP_BARO_MS5611_I2C
```

```
#endif
```

По умолчанию будет использован барометр BMP085 (устаревший аналог BMP180). Доступ к файлу config.h можно получить из верхней строки среды Arduino IDE.

Далее настраиваются каналы управления с пульта управления-приемника. Для этого необходим файл ardupilot-mpng-mpng-3.1-beta\libraries\AP_HAL_MPNG\RCInput_MPNG.cpp. Редактирование выполняется только из стороннего редактора. Например NotePad++. Если приёмник выдаёт PPM сигнал, то редактирование не выполняется. Если приёмник выдаёт PWM сигнал, то выполняется следующее:

меняется строка файла RCInput_MPNG.cpp

```
#define SERIAL_PPM SERIAL_PPM_ENABLED
```

на

```
#define SERIAL_PPM SERIAL_PPM_DISABLED
```

После перечисленных выше изменений выполняется компиляция прошивки с последующим копированием ее в микроконтроллер.

Дальнейшая настройка прошивки полетного контроллера выполняется с помощью программы Mission Planner, например версии 3.1.5[7]. Производится калибровка акселерометра, компаса,

радиоаппаратуры[8,9]. Обязательно настраивается Failsafe, иначе при потере связи с аппаратурой управления коптер улетает в соответствии с сохранившимися параметрами радиоприемника. На рисунке 12 представлен маршрут полета гексакоптера в автоматическом режиме по путевым точкам, сформированный в Mission Planner.

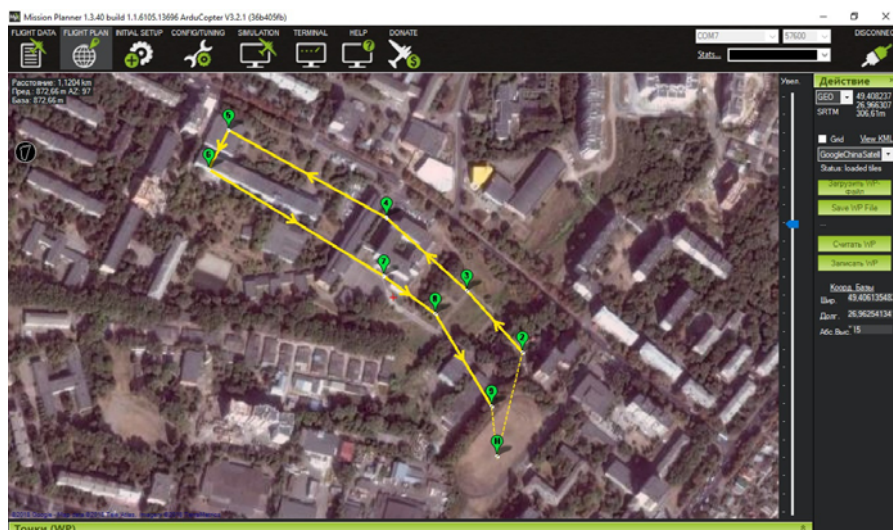


Рис.12. Маршрут полета гексакоптера в автоматическом режиме.

На рисунке 13 представлено фото собранного гексакоптера.



Рис.13. Фото спроектированного гексакоптера на базе Arduino mega2560

Выводы

1. Практически показана возможность построения БПЛА, который способен выполнять заданные в работе полетные режимы.
2. Показана возможность использования более компактной платы RobotDyn Mega2560 Pro вместо Arduino Mega2560 R3 для построения полетного контроллера.
3. Представлена конфигурация модуля GY-GPSM6V2 в программе u-center для корректного полета гексакоптера по путевым точкам.
4. Показана необходимость перепрошивки регуляторов моторов ESC прошивкой Simonk для устойчивой работы гексакоптера.
5. Рассмотрена возможность использования прошивки MegapirateNG 3.1.5R2 и ее корректировка при использовании разных датчиков в полетном контроллере (на примере барометров MS5611 и BMP180).
6. Экспериментально показана не существенная разница в использовании барометров MS5611 и BMP180 в режиме удержания высоты для прошивки megapirateNG 3.1.5R2.

Литература

1. Ardupilot. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot.org/>, 2018

2. Simon Kirby. TGY -- Open Source Firmware for ATmega-based Brushless ESCs. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://github.com/sim-/tgy>, 2017
3. Мясищев А.А. Перепрошивка регуляторов Hobbypower ESC-30A, Readytosky ESC-30A и Simonk 30A прошивкой Simonk. [Electronic resource]. - Mode of access: https://sites.google.com/site/webstm32/esc_reg, 2017.
4. FlySky-i6-Mod-10ch. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://github.com/benb0jangles/FlySky-i6-Mod->, 2017.
5. U-center Windows. GNSS evaluation software for Windows. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://www.u-blox.com/en/product/u-center-windows>, 2018
6. Мясищев А.А. Два способа настройки GPS модуля u-blox NEO-6M для полетного контроллера БПЛА на базе Arduino с прошивкой MegapirateNG. [Electronic resource]. - Mode of access: https://sites.google.com/site/webstm32/config_gps
7. Mission Planner Home. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot.org/planner/>, 2018.
8. Полетный контроллер ArduPilot Mega (APM 2.6). [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot-mega.ru>, 2017.
9. Подключение, прошивка и настройка полетного контроллера APM 2.6. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://www.youtube.com/watch?v=rqCS6YDE7KI&t=1645s>, 2014.
10. Калибровка регуляторов скорости моторов ESC. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot-mega.ru/wiki/arducopter/esc-motor.html>, 2016.
11. Полётный контроллер. [Electronic resource]. - Mode of access: https://ru.wikipedia.org/wiki/Полётный_контроллер, 2018
12. Planning a Mission with Waypoints and Events. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-planning-a-mission-with-waypoints-and-events.html>, 2016
13. Autopilot Hardware Options. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-autopilots.html#common-autopilots>, 2016
14. Mega2560 Pro Mini. [Electronic resource]. -Mode of access: http://wiki.epalsite.com/index.php?title=Mega2560_Pro_Mini, 2015

References

1. Ardupilot. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot.org/>. 2018
2. Simon Kirby. TGY -- Open Source Firmware for ATmega-based Brushless ESCs. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://github.com/sim-/tgy>. 2017
3. Myasishchev A.A. Pereproshivka regulyatorov Hobbypower ESC-30A. Readytosky ESC-30A i Simonk 30A proshivkoy Simonk. [Electronic resource]. - Mode of access: https://sites.google.com/site/webstm32/esc_reg. 2017.
4. FlySky-i6-Mod-10ch. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://github.com/benb0jangles/FlySky-i6-Mod->. 2017.
5. U-center Windows. GNSS evaluation software for Windows. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://www.u-blox.com/en/product/u-center-windows>. 2018
6. Myasishchev A.A. Dva sposoba nastroyki GPS modulya u-blox NEO-6M dlya poletnogo kontrollera BPLA na baze Arduino s proshivkoy MegapirateNG. [Electronic resource]. - Mode of access: https://sites.google.com/site/webstm32/config_gps
7. Mission Planner Home. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot.org/planner/>. 2018.
8. Poletnyy kontroller ArduPilot Mega (APM 2.6). [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot-mega.ru>. 2017.
9. Podklyucheniye. proshivka i nastroyka poletnogo kontrollera APM 2.6. [Electronic resource]. - Mode of access: <https://www.youtube.com/watch?v=rqCS6YDE7KI&t=1645s>. 2014.
10. Kalibrovka regulyatorov skorosti motorov ESC. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot-mega.ru/wiki/arducopter/esc-motor.html>. 2016.
11. Poletnyy kontroller. [Electronic resource]. - Mode of access: https://ru.wikipedia.org/wiki/Poletnyy_kontroller. 2018
12. Planning a Mission with Waypoints and Events. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-planning-a-mission-with-waypoints-and-events.html>. 2016
13. Autopilot Hardware Options. [Electronic resource]. - Mode of access: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-autopilots.html#common-autopilots>. 2016
14. Mega2560 Pro Mini. [Electronic resource]. -Mode of access: http://wiki.epalsite.com/index.php?title=Mega2560_Pro_Mini. 2015.

Рецензія/Peer review : 14.04.2018 р.

Надрукована/Printed :20.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АРХІТЕКТУРНИХ СТИЛІВ СПОРУД

В статті наведено опис та практична реалізація експертних систем (ЕС) архітектурного спрямування різними інструментальними засобами розробки ЕС: мова логічного програмування Visual Prolog, яка є одним з найпоширеніших інструментальних засобів розробки ЕС, та програмне середовище Clips, яке є сучасним інструментом, що забезпечує ефективність та швидкість розробки експертних систем (expert system tool). Вибір інструментальних засобів для побудови ЕС було обумовлено особливостями постановки задачі та зручністю експлуатації таких ЕС.

Розроблені експертні системи можна використовувати для автоматизації навчального процесу студентів-архітекторів по виявленню їх знань стосовно найбільш знаних архітектурних стилів, а також для пояснення студентам комп'ютерних спеціальностей основних можливостей мови логічного програмування та програмного середовища, призначеного для розробки експертних систем.

Завданням дослідження є проектування та розробка експертних систем на основі продукційної моделі подання знань про предметну область. В розроблених експертних системах використовувалась евристична парадигма програмування. Результатом роботи є створені на основі правил продукції бази знань про стилі архітектури. Розроблені експертні системи мають змогу доповнювати базу знань вузькоспеціалізованими знаннями в області архітектурних стилів.

Ключові слова: логічне програмування, середовище програмування, продукційна система, експертна система, архітектурні стилі, Visual Prolog, Clips.

O.O. PETROVA, Y.S. LYSSENKO, Y.V. KACHANOV

Kharkiv national university of civil engineering and architecture

USE OF SOFTWARE FOR ARCHITECTURAL STYLES DETERMINATION OF BUILDINGS

Abstract – The article includes the description and practical implementation of architecture-orientated expert systems (ES) by various ES development tools, such as the language of logical programming called Visual Prolog, which is one of the most commonly used tools of ES development, and the Clips software environment, which is a modern tool providing efficiency and high development speed of expert systems (expert system tool). Such tools choice for building the ES was made due to peculiarities of the task and for easy usage of such ES.

The developed expert systems can be used to automate the educational process of students-architects to identify their knowledge of the most well-known architectural styles, as well as to explain to students of computer specialties languages of logical programming main features and the software environment designed for the development of expert systems.

The research objective is the design and development of expert systems based on the production model of presentation of knowledge about the subject area. In the developed expert systems a heuristic programming paradigm was used. The result of the work is the creation of knowledge base of the architectural styles based on the production system rules. The developed expert systems have the ability to supplement the knowledge base with highly specialized knowledge in the field of architectural styles.

Keywords: logical programming, programming environment, production systems, expert system, architectural styles, Visual Prolog, Clips.

Вступ

Основним призначенням експертної системи є розробка програмних засобів, які при рішенні задач, важких для людини, одержують результати, що не уступають по якості й ефективності розв'язкам, що одержуються людиною-експертом [1]. Використання ЕС виглядає наступним чином: користувач вводить інформацію на деякій формалізованій мові і отримує відповідь системи, яка може бути: або рішенням проблемної ситуації, яка описана користувачем, або вказівкою на те, що необхідні додаткові дані, або знання, або судження про те, що рішення не існує. База знань ЕС вміщує факти (дані) та правила, які використовують факти для прийняття рішень. Механізм виводу вміщує інтерпретатор, який визначає яким чином використовувати правила для виводу нових знань, та диспетчер, який установлює порядок використання цих правил.

За типом методів та знань, що використовуються, інструментальні засоби для розробки ЕС можна поділити на традиційні, які використовують тільки методи та способи представлення інженерії знань, та гібридні, які поєднують підходи інженерії знань з підходами, що розвинені в традиційних мовах програмування при представленні даних та використанні підпрограм.

У програмуванні, орієнтованому на правила, поведінка визначається множиною правил вигляду умова-дія. Умова задає образ даних, при виникненні якого дія правила може бути виконана. В парадигмі, що орієнтована на правила, поведінка (послідовність дій) задається не заздалегідь визначеною послідовністю правил, а формується на основі тих даних і їх значень, які в поточний момент обробляються програмою (системою). Формування поведінки здійснюється за наступною схемою: умови правил зіставляються з поточними даними, і ті правила, умови яких задовольняються значеннями поточних даних, стають претендентами на виконання. На наступному кроці за певним критерієм виконується вибір одного правила серед претендентів і його виконання, тобто виконання дії, зазначеної в правій частині правила [2].

Вибір програмних продуктів для розробки ЕС архітектурного спрямування обумовлено

необхідністю створювати бази даних та працювати з фактами та правилами. Мова Visual Prolog обрана як інструментальний засіб розробки ЕС тому, що в Visual Prolog використовується єдине представлення знань та мова Visual Prolog має вбудований в неї механізм логічного виводу, який використовується при розробці ЕС. Для ЕС, написаних мовою Visual Prolog характерні мінімальний час розробки та максимальна швидкість виконання. Середовище Clips надає користувачам можливість створення ефективних та легко керованих ЕС.

Постановка проблеми

Як галузь суспільного виробництва, мистецтво архітектури залежить від досягнень науково-технічного прогресу, характеру виробничих відносин, від природних і кліматичних умов, художніх смаків та інше.

В останні десятиліття якісні зміни будівельної техніки, створення нових конструкцій і матеріалів істотно вплинули на сучасну архітектуру. Багатогранність практичних потреб людства зумовила створення і будівництво найрізноманітніших типів і видів споруд, з яких утворюються ансамблі, комплекси та міста.

У процесі розвитку архітектури окремих країн і народів, залежно від матеріальних, духовних і природних умов суспільного життя, склалися різноманітні архітектурні стилі, що визначаються своєрідністю взаємопов'язаних типів споруд, будівельних конструкцій та архітектурних форм [3].

Фахівцями-архітекторами було виділено одинадцять архітектурних напрямів: стародавня архітектура, антична архітектура, ренесанс (відродження), готика, класицизм, бароко або рококо, еkleктика, модерн, постмодернізм, хай-тек, деконструктивізм [4].

Класифікацію архітектурних стилів можна розбити на періоди з виокремленням в кожному періоді стилю з його характерними ознаками [5]:

- античний період (давньогрецька та давньоримська архітектури);
- середньовіччя (візантійська архітектура, романський стиль, готичний стиль);
- ренесанс;
- новий час (бароко, класицизм);
- новітній час (авангард (функціоналізм), модернізм (інтернаціональний стиль).

Розглянута предметна область відноситься до знань, які загально відомі, тому при створенні ЕС використовувалися основні поняття, відомості і відомі способи отримання відповідей.

Головною метою розробки ЕС різними програмними засобами була розробка та використання програм в якості комп'ютерної системи навчання студентів-архітекторів та студентів спеціальності «Комп'ютерні науки». В розроблених експертних системах закладено навчальний матеріал в галузі архітектури та застосовано інструментальні можливості програмних засобів розробки ЕС.

Аналіз останніх досягнень та публікацій

Аналіз літературних джерел показав наявність тестів по визначенню архітектурних стилів, але ці тести не об'єднують як ЕС знання, досвід кваліфікованих спеціалістів. Розроблені ЕС не претендують на повноту висвітлення матеріалу та охоплення інформації, накопиченою людством в галузі архітектурних стилів, але поповнюючи створену базу знань ЕС новими фактами та правилами, які розширюють характерні ознаки кожного архітектурного стилю, можливо покращити контроль та керування процесом навчання студентів не тільки архітектурного, але й комп'ютерного напрямку.

В статті [6] розглядаються проблеми використання та розробки ЕС в освіті, зокрема в дистанційній, і зазначається, що бази знань таких ЕС дозволяють відобразити мінімальний зміст предметної області з урахуванням її кількісної та якісної оцінок. Розглянуті в даній роботі публікації аналізують теоретико-педагогічні аспекти використання ЕС, а не технічні та архітектурні.

В статтях [7–9] мова логічного програмування була використана авторами для розробки експертних систем технічного, економічного та астрономічного спрямування.

Експертні системи, що розроблені авторами, мають достатньо повну базу знань для правильного визначення архітектурного стилю та надають рекомендації з урахуванням характеристик кожного стилю.

Проектування та реалізація експертних систем

Розроблена мовою логічного програмування Visual Prolog експертна система призначена для визначення архітектурного стилю за його характерними ознаками, має типові розділи програми: Domains, Predicates, Clauses, і використовує евристичну парадигму програмування. У розділі програми Domains задекларовані наступні змінні: str=string – рядок, int=integer – ціле число, intlist=integer* – список цілих чисел. Застосування даних доменів та їх зміст поданий у описаних предикатах (розділ Predicates):

- nondeterm done(int) – предикат для додавання фактів в базу даних;
- nondeterm rule(int,str,str,intlist) – предикат для визначення правил, що містять число в якості першого аргументу, рядки в якості другого і третього аргументів та список чисел для четвертого аргументу;
- nondeterm search(str) – предикат для пошуку архітектурних стилів у внутрішній базі даних;
- nondeterm determination(intlist) – предикат для виклику питань (question) для кожного елементу списку цілих чисел;
- nondeterm question(int) – предикат для опитування стосовно характерних особливостей архітектурних стилів (аргумент зберігається в якості цілого числа).

В ЕС основним формалізмом для представлення знань є продукційні правила, які можна охарактеризувати:

- 1) модульністю (заміна одиниці інформації незалежно від іншої інформації);
- 2) модифікованістю (додавання або модифікація правила);
- 3) доступністю читання.

В програмі використано предикати, які визначені більш ніж одним правилом. Так як порядок розташування правил має вплив на ефективність пошуку, тому на початку розділу Clauses наведені правила, що підлягають виконанню в першу чергу.

Розділ Clauses структуровано таким чином, що спочатку в правилі кваліфіковані архітектурні стилі за часом їх виникнення, а потім виконана градація за кожним стилем у межах цієї епохи. Така структура розділу експертної системи прискорює процес визначення архітектурного стилю.

На рис. 1 подано правила для архітектурних епох (правила 1–5) та конкретних стилів (правила 5–15).

```

clauses
rule(1,"Архитектурный стиль","Античность",[1,2]).
rule(2,"Архитектурный стиль","Средневековье",[4,5]).
rule(3,"Архитектурный стиль","Ренессанс",[6]).
rule(4,"Архитектурный стиль","Новое время",[1,4]).
rule(5,"Архитектурный стиль","Новейшее время",[3]).

rule(6,"Античность","Древнегреческая архитектура",[7,8,21,22]).
rule(7,"Античность","Древнеримская архитектура",[9,10,23,24]).

rule(8,"Средневековье","Византийский стиль",[11,15]).
rule(9,"Средневековье","Романский стиль",[12,14,17]).
rule(10,"Средневековье","Готический стиль",[13,16,18]).

rule(11,"Ренессанс","стиль «Ренессанс»",[19,20]).

rule(12,"Новое время","Барокко",[25,26,29,30]).
rule(13,"Новое время","Классицизм",[27,28,31]).

rule(14,"Новейшее время","Авангард (функционализм)",[32,33,36]).
rule(15,"Новейшее время","Модернизм (Интернациональный стиль)",[34,35,37]).
  
```

Рис. 1. Правила експертної системи мовою Visual Prolog

Визначення кожного архітектурного стилю відбувається за певним правилом, наприклад:
ЯКЩО

будівля має колони (позитивний результат питання №1)

і будівля має арки (позитивний результат питання №2)

ТО

така будівля напевно є представником одного з архітектурних стилів античності (згідно з правилом №1)

ЯКЩО

будівля має фронтон (позитивний результат питання №7)

і будівля має стереобат (позитивний результат питання №8)

і будівля має каріатиди (позитивний результат питання №21)

і будівля має ордерну колонаду (позитивний результат питання №22)

ТО

така будівля напевно є представником давньогрецького архітектурного стилю (згідно з правилом №6).

Для сформованого набору питань характерно те, що позитивні відповіді користувача на питання заносяться в базу знань в якості номерів питань у вигляді списку цілих чисел (intlist). Необхідно відмітити, що визначення епохи і самого архітектурного стилю відбувається при повному наборі цих чисел, що в свою чергу є характерними особливостями архітектурних стилів, які і обирає користувач в режимі діалогу з ЕС. В результаті експертна система виводить архітектурний стиль, якщо користувач під час опитування обрав всі відповідні особливості цього стилю.

На рис. 2 наведені деякі з питань розробленої ЕС.

```

question(X):-fact(X,"y"),!.
question(X):-fact(X,"n"),!,fail.

question(1):-write("У здания есть колонны?"),!,done(1).
question(2):-write("У здания есть арки?"),!,done(2).
question(3):-write("У здания отсутствуют украшения?"),!,done(3).
question(4):-write("У здания есть купола?"),!,done(4).
question(5):-write("У здания есть башни?"),!,done(5).
question(6):-write("У здания есть сильно вынесенный карниз?"),!,done(6).

```

Рис. 2. Фрагмент набору питань, розробленої ЕС мовою Visual Prolog

Стратегія пошуку рішень та визначення цілей наведені на рис. 3.

```

search(X):- rule(N, X, Y, Z), determination(Z), !,
write(" Похоже на ", X, " - ", Y, " (правило ", N,")"), nl,
search(Y).
search("Архитектурный стиль"):- write("этот архитектурный стиль системе не извесетен!"),nl,!.
search("Античность"):- write("этот архитектурный стиль системе не извесетен!"),nl,!.
search("Средневековье"):- write("этот архитектурный стиль системе не извесетен!"),nl,!.
search("Ренессанс"):- write("этот архитектурный стиль системе не извесетен!"),nl,!.
search("Новое время"):- write("этот архитектурный стиль системе не извесетен!"),nl,!.
search("Новейшее время"):- write("этот архитектурный стиль системе не извесетен!"),nl,!.
search(_).

determination([]).
determination([X|Y]):- question(X), determination(Y).

done(X):- nl, readln(Y), assert(fact(X, Y)), Y="y".

goal
retractall(_), search("Архитектурный стиль").

```

Рис. 3. Стратегії пошуку рішень та визначення цілей розробленої ЕС мовою Visual Prolog

Результат визначення ЕС архітектурного стилю «Давньоримська архітектура» наведено на рис. 4.

```

У здания есть колонны?
у
У здания есть арки?
у
Похоже на Архитектурный стиль - Античность (правило 1)
У здания есть фронтоны?
н
У здания есть арочные ряды?
у
У здания есть арочные проёмы?
у
У здания есть цилиндрические своды?
у
У здания есть стена с ордерной декорацией в виде полуколонн?
у
Похоже на Античность - Древнеримская архитектура (правило 7)
yes|

```

Рис. 4. Результат виведення архітектурного стилю «Давньоримська архітектура»

Друга ЕС для визначення архітектурного напряму споруди розроблена в середовищі Clips, який є сучасним інструментом, що забезпечує ефективність та швидкість розробки експертних систем (expert system tool). Відмінною особливістю Clips є конструктори для створення баз знань [10]. ЕС працює в режимі введення відповідних команд і конструкторів мови безпосередньо в середовище Clips. Евристичний механізм подання знань в ЕС реалізовано за допомогою фактів і правил. Таке представлення близьке до людського мислення і відрізняється від програм, написаних на традиційних алгоритмічних мовах, де дії впорядковані і виконуються строго за алгоритмом.

База знань розробленої ЕС містить в собі двадцять два правила (до одинадцяти запитань), на основі яких експертна система може зробити вибір архітектурного стилю. Для цього користувачеві, який проводить встановлення архітектурних стилів, необхідно надати відповіді на ряд запитань, які виводяться системою (рис. 5).

```

(rule (if size.type is large and
        column is yes)
      (then type.architecture is Ancient))
(rule (if size.type is large and
        column is no)
      (then type.architecture is Prehistoric))
(question column is "Does the building have the columns?")

(rule (if size.type is little and
        pointed.shapes is yes)
      (then type.architecture is Gothic))
(rule (if size.type is little and
        pointed.shapes is no)
      (then archit.type is nogothic))
(question pointed.shapes is "Does the building have many stained glass windows and a pointed shapes?")

(rule (if archit.type is nogothic and
        strong.symmetry is yes)
      (then subtype is strong))
(rule (if archit.type is nogothic and
        strong.symmetry is no)
      (then type.architecture is Revival))
(question strong.symmetry is "Does the building have a strong symmetry of forms and construction?")

(rule (if subtype is strong and
        bright is yes)
      (then type.architecture is Baroque/Rococo))
(rule (if subtype is strong and
        bright is no)
      (then type.architecture is Classicism))
(question bright is "Is the building bright and does it have fanciful of forms?")

```

Рис. 5. Правила експертної системи, яка розроблена в середовищі Clips

В результаті виконання аналізу даних експертна система може надати дванадцять варіантів, тобто одинадцять напрямів архітектури та випадок, коли встановити напрям архітектури неможливо через брак інформації. Можливими варіантами рекомендацій ЕС по визначенню архітектурного стилю споруди є наступні:

Prehistoric (стародавня архітектура); Ancient (антична архітектура); Renaissance (відродження); Gothic (готика); Classicism (класицизм); Baroque/Rococo (бароко або рококо); Eclectic (еклектика); Modern (модерн); Postmodernism (постмодернізм); High-tech (хай-тек); Deconstruction (деконструктивізм); Unknown (невизначений архітектурний стиль).

Результат визначення експертною системою в середовищі Clips архітектурного стилю «Антична архітектура» наведено на рис. 6.

```

CLIPS> (reset)
CLIPS> (run)
Is the building ancient? (yes no) yes
Is the building very high and very large? (yes no) yes
Does the building have the columns? (yes no) yes
I think this architecture is a Ancient
CLIPS>

```

Рис. 6. Рекомендації експертної системи, розробленої в середовищі Clips

Висновки

Експертні системи здатні надати людині допомогу у її інтелектуальній роботі. Розроблені експертні системи дозволяють підвищити якість навчання використанням автоматизації в навчальному процесі.

По мірі розв'язання поставленої задачі стосовно визначення архітектурного стилю експертні системи проводять діалог зі студентом, обмінюючись з ним питаннями та відповідями. В кінці своєї роботи ЕС видають користувачу готове, найбільш оптимальне рішення та пропонують рекомендації, які наведені у зрозумілій формі та є найбільш доречними в даній ситуації. Розроблені експертні системи можна використовувати як приклади написання програм на одній з найпопулярніших мов логічного програмування – Visual Prolog та використання основних можливостей продукційної системи Clips, так і як засіб для визначення рівня знань студентів-архітекторів.

До переваг розроблених експертних систем можна віднести:

- рішення, отримані за допомогою розроблених експертних систем, є «прозорими», тобто можуть бути пояснені користувачеві на якісному рівні;
- експертні системи здатні поповнювати свої знання в ході діалогу з експертом.

Основою розроблених ЕС є сукупність знань, яка структурується для спрощення процесу прийняття рішень стосовно визначення архітектурного стилю споруди.

Література

1. Джексон П. Введение в экспертные системы. / П. Джексон. – М. : Мир, 2002. – 305 с.

2. Языки программирования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.maksakov-sa.ru/Iskustven_intelekt/Expert_sistem.
3. Архитектура. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>.
4. Алексеев Ю. В. История архитектуры, градостроительства и дизайна : учебное пособие / Ю. В. Алексеев, В. П. Казачинский, В. В. Бондарь. – М. : Изд-во АСВ, 2004. – 448 с.
5. Журнал. Определил архитектурных стилей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arzas.academy/mag/446-arch>.
6. Чванова М.С. Использование экспертных систем в образовании. / М. С. Чванова, И. А. Киселева, А. А. Молчанов, А. Н. Бозюкова. // Управление: стратегия и тактика. – 2013. – №1. – С. 47–54.
7. Петрова О. О. Експертна система «Визначення оцінки параметрів ризику виробничих об'єктів»/ О. О. Петрова, Д. Л. Аксьонова // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 4. – С. 146–148.
8. Сізова Н. Д. Експертна система «Інвестиційна привабливість обласних центрів України». / Н. Д. Сізова, О. О. Петрова, А. С. Камардін // Радиоэлектроника и информатика. – 2016. – № 2 (73). – С. 29–32.
9. Петрова О. О. Логічне програмування в розробці інформаційно-довідкової системи. / О. О. Петрова, Р. В. Бурменський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 6 (255). – С. 92–95.
10. Частиков А. П. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS. / А. П. Частиков, Т. А. Гаврилова, Д. Л. Белов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 608 с.

References

1. Dzheksan P. Vvedeniye v ekspertnyye sistemy. / P. Dzheksan – M.: Mir, 2002. – 305 s.
2. Yazyki programmirovaniya. [Yelektronnyy resurs]. – Rezhim dostupu: http://www.maksakov-sa.ru/Iskustven_intelekt/Expert_sistem.
3. Arkhitektura. [Elektronnyy resurs]. - Rezhym dostupu: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>.
4. Alekseyev YU. V. Istoriya arkhitektury, gradostroitel'stva i dizayna : uchebnoye posobiye / YU. V. Alekseyev, V. P. Kazachinskiy, V. V. Bondar'. – M. : Izd-vo ASV, 2004. – 448 s.
5. Zhurnal. Opredelitel' arkhitekturnykh stiley. [Yelektronnyy resurs]. – Rezhim dostupu: <https://arzas.academy/mag/446-arch>.
6. Chvanova M.S. Ispol'zovaniye ekspertnykh sistem v obrazovanii. / M.S. Chvanova, I.A. Kiseleva, A.A. Molchanov, A.N. Bozyukova. // Upravleniye: strategiya i taktika. – 2011. – №2. – S. 131–139.
7. Petrova O.O. Ekspertna systema «Vyznachennya otsinky parametrov ryzyku vyrobnychkh ob'yektiv» / O.O. Petrova, D.L. Aks'onova // Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2016. - №4. – S. 146–148.
8. Sizova N.D. Ekspertna systema «Investytsijna pryvablyvist'» oblasnykh tsentriv Ukrainy». / N.D. Sizova, O.O. Petrova, A.S. Kamardin // Radioelektronika i informatika. – 2016. - №2 (73). – S. 29-32.
9. Petrova O.O. Lohichne prohramuvannya v rozrobttsi informatsiyno-dovidkovoyi systemy. / O.O. Petrova, R.V. Burmens'kiy // Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. Tekhnichni nauky. - 2017. - № 6 (255). - S. 92-95.
10. Chastikov A.P. Razrabotka ekspertnykh sistem. Sreda CLIPS. / A.P. Chastikov, T.A. Gavrilova, D.L. Belov. – SPb. : BKHV–Peterburg, 2003. – 608 s.

Рецензія/Peer review : 27.04.2018 р.

Надрукована/Printed :22.05.2018 р.
Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Сізова Н.Д.

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПУ ДЕКОМПОЗИЦІЇ ПІД ЧАС КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ДІЯЛЬНОСТІ

На основі проведеного аналізу визначено напрямки підвищення конкурентоспроможності, які полягають у застосуванні технологій комп'ютерного проектування. Як один з базових принципів при реалізації технологій комп'ютерного проектування об'єктів діяльності розглянуто принцип декомпозиції. Застосування принципу декомпозиції продемонстровано на конкретному прикладі з реалізацією програмного застосування.

Ключові слова: декомпозиція, комп'ютерне проектування, об'єкт діяльності, автоматизоване проектування.

O.A. PASICHNYK

Khmelnytsky National University

APPLICATION OF THE PRINCIPLE OF DECOMPOSITION AT COMPUTER PROTECTION OF ACTIVITY OBJECTS

Basic preconditions for the competitiveness of enterprises in modern conditions is the output: best quality; lower costs; shorter time to market. To achieve the desired results in modern conditions perhaps only by intensification and optimization at all stages of object creation - search design, design, technological preparation of production, manufacturing a prototype, the development of mass production, meet the needs of the operation. Fundamentally insurmountable obstacle for the solution of these problems is low rate of increase of labour productivity of the designer due to the physiological limitations of man. Among the various ways to improve the quality and productivity of design activity is the most effective automation based on modern means of computer technology or the application of computer technologies. From a methodological point of view, design is a process of transformation of the source description object in the final on the basis of the completion of the work package research, design and engineering and the design of the object is the creation and presentation in an appropriate form the image of this non-existing object. The result of designing is a complete set of documentation containing sufficient information for making an object under specified conditions. This documentation (draft) is the final description of the object. Design of complex objects based on the application of ideas and principles of several theories and approaches. The most common is a system approach. The basic common principle of the system approach consists in considering phenomena or parts of a complex system, taking into account their interaction, that is, includes the identification of system structure, logical relationships, determination of attributes, analysis of the influence of the external environment. The application of the decomposition principle in computer design activities for example definition of surface area, volume and mass three-dimensional object with complex geometric shapes, symmetrical about the axis. For this part of complex shape is divided into elements (fences) a simple geometry. On the basis of this analysis, the directions of increase of competitiveness that is in the application of technologies of computer designing. As one of the basic principles when implementing technology computer-aided design activities the principle of decomposition. Application of the decomposition principle is demonstrated on a specific example implementation of the software application.

Key words: decomposition, computer design, object of activity, automated designing.

Вступ

Основними передумовами конкурентоспроможності підприємств в сучасних умовах є випуск продукції: кращої якості; нижчої вартості; з коротшими термінами надходження на ринок. Досягнути бажаних результатів в сучасних умовах можливо лише шляхом інтенсифікації та оптимізації на всіх етапах створення об'єктів - пошукового проектування, конструювання, технологічної підготовки виробництва, виготовлення дослідного зразка, освоєння серійного виробництва, задоволення потреб в процесі експлуатації [1].

За сучасного рівня та можливостей технології реальним є освоєння виробництва практично будь-яких виробів. Сучасний стан розвитку об'єктів діяльності характеризується чітко вираженими якісними змінами в бік їх суттєвого й принципового ускладнення, що спричиняє інформаційний вибух в питаннях обсягів різноманітної документації. В таких умовах темпи технічного прогресу визначаються темпами розробки нових проектних рішень, тобто підвищення якості та продуктивності процесу проектування є головною умовою зростання ефективності виробництва.

Принципово нездоланною перешкодою для вирішення цих проблем є наднизькі темпи підвищення продуктивності праці проектувальника обумовлені психофізіологічними обмеженнями людини. Серед різноманітних шляхів підвищення якості та продуктивності проектно-конструкторської діяльності найбільш ефективним є автоматизація на основі сучасних засобів обчислювальної техніки або застосування комп'ютерних технологій проектування.

Практичною реалізацією технологій комп'ютерного проектування в сучасній виробничій діяльності є застосування систем автоматизованого проектування (САПР) або CAD, CAE, CAM, CAX, EDA, CAPP, PDM, PLM, а в найбільш загальному вигляді структура всякої діяльності складається з декількох елементів, три з яких є базовими – суб'єкт діяльності, об'єкт діяльності, зв'язки (взаємозв'язки) між ними, що мають різну форму, сполучення та часовий характер.

З методологічної точки зору проектування представляє собою процес перетворення вихідного опису об'єкта в остаточний на основі виконання комплексу робіт дослідного, розрахункового та конструкторського характеру, а проектування об'єкта – це створення, перетворення та представлення у прийнятній формі образу цього ще не існуючого об'єкта. Результатом проектування є повний комплект

документації, що містить достатні відомості для виготовлення об'єкта в заданих умовах. Ця документація (проект) є остаточним описом об'єкта.

Проектування складних об'єктів ґрунтується на застосуванні ідей та принципів ряду теорій та підходів. Найбільш загальним є системний підхід.

Основний загальний принцип системного підходу полягає у розгляді частин явищ або складної системи з урахування їх взаємодії, тобто включає в себе виявлення структури системи, типізацію зв'язків, визначення атрибутів, аналіз впливу зовнішнього середовища.

При проектуванні складних технічних систем використовується розділ теорії систем – системотехніка.

Інтерпретація та конкретизація системності підходу полягає у застосуванні таких основних принципів, компонент або підходів як структурного, блочно-ієрархічного, об'єктно-орієнтованого.

При структурному підході з компонентів та блоків синтезуються варіанти системи, які в подальшому оцінюються з частковим перебором та попереднім прогнозуванням характеристик складових. Блочно-ієрархічний підхід полягає у декомпозиції складних об'єктів та засобів їх створення на ієрархічні рівні та аспекти, застосуванні принципів етапності та ітераційності, встановлює зв'язок між параметрами рівнів. Об'єктно-орієнтований підхід, що базується на принципах інкапсуляції, наслідування та поліморфізму, широко використовується при розробці інформаційних систем та, насамперед, програмного забезпечення. Його застосування при проектуванні полягає у типізації та уніфікації проектних рішень та засобів проектування.

У розвитку теорії та практики автоматизованого проектування спостерігаються дві взаємопов'язані тенденції – ускладнення об'єктів проектування та перехід від автоматизації окремих процедур або етапів проектування до створення інтегрованих САПР, які охоплюють весь процес проектування виробів або навіть всю діяльність проектно-конструкторської установи [2, 3].

У зв'язку з цим виникає необхідність розглядати САПР та вироби, які проектується з її допомогою, як складні технічні системи, що складаються з різномірних, але взаємопов'язаних компонентів.

Основна частина

Розглянемо застосування принципу декомпозиції при комп'ютерному проектуванні об'єктів діяльності на прикладі визначення площі поверхні, об'єму та маси тривимірного об'єкта складної геометричної форми симетричного відносно осі (рис. 1).

На початку визначено об'єм деталі. Задля цього деталь складної форми розіб'ємо на елементи – частини простої геометрії (рис. 2).

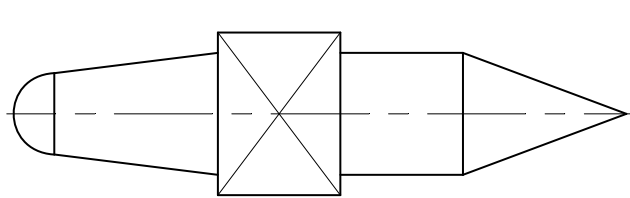


Рис. 1. Об'єкт симетричний відносно осі

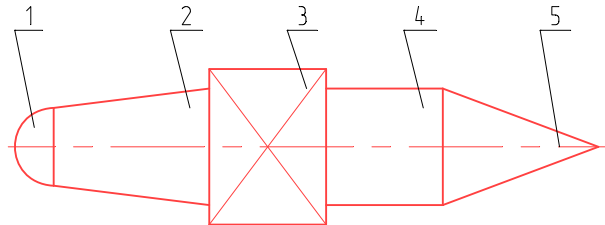


Рис. 2. Представлення деталі як сукупності елементів простої геометричної форми

Наведена деталь та її елементи однозначно визначаються скінченим переліком геометричних параметрів (рис. 3), які є змінними топологічно стаціонарної моделі.

Для наочності прикладу призначимо для геометричних параметрів розміри як наведено на рис. 4.

Таким чином наша деталь представляє собою сукупність таких елементів:

- елемент 1 – напівсфера радіусом $R_1 = 10$ мм,
- елемент 2 – усічений конус висотою $h_2 = 40$ мм, з круговими основами діаметрами $r_2 = 10$ мм (діаметр 20 мм на кресленні) та $R_2 = 15$ мм (діаметр 30 мм на кресленні),
- елемент 3 – квадратна призма висотою $h_3 = 30$ мм та стороною основи $a_3 = 40$ мм,
- елемент 4 – циліндр висотою $h_4 = 30$ мм та радіусом $R_4 = 15$ мм (діаметр 30 мм на кресленні),
- елемент 5 – конус висотою $h_5 = 40$ мм та радіусом основи $R_5 = 15$ мм (діаметр 30 мм на кресленні).

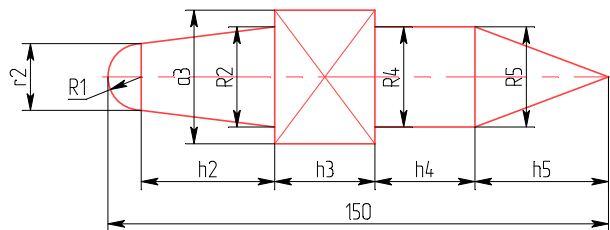


Рис. 3. Геометричні параметри елементів

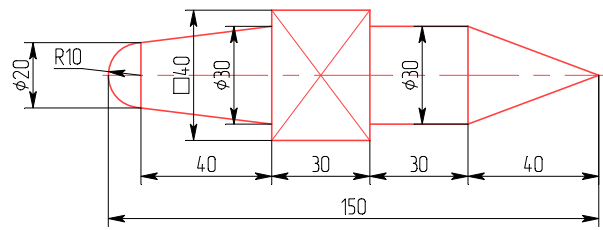


Рис. 4. Приклад розмірів геометричних параметрів елементів

В нашому випадку об'єм деталі визначається як сума об'ємів елементів згідно з співвідношенням (рис. 5):

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5. \quad (1)$$

Визначимо величини об'ємів елементів:

$$\text{- для елемента 1 - } V_1 = \frac{4\pi R_1^3}{6} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^3}{6} = 2093 \text{ мм}^3,$$

$$\text{- для елемента 2 - } V_2 = \frac{\pi h_2}{3} (R_2^2 + R_2 r_2 + r_2^2) = \frac{3,14 \cdot 40}{3} (15^2 + 15 \cdot 10 + 10^2) = 19886 \text{ мм}^3,$$

$$\text{- для елемента 3 - } V_3 = a_3^2 h_3 = 40^2 \cdot 30 = 48000 \text{ мм}^3,$$

$$\text{- для елемента 4 - } V_4 = \pi R_4^2 h_4 = 3,14 \cdot 15^2 \cdot 30 = 20925 \text{ мм}^3,$$

$$\text{- для елемента 5 - } V_5 = \frac{\pi R_5^2 h_5}{3} = \frac{3,14 \cdot 15^2 \cdot 40}{3} = 28260 \text{ мм}^3.$$

Тоді загальний об'єм, згідно з залежністю (7.1), становить

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 = 2093 + 19886 + 48000 + 20925 + 28260 = 119164 \text{ мм}^3.$$

В нашому випадку площа поверхні деталі (рис. 6) визначається як сума площ поверхонь елементів згідно з співвідношенням:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7. \quad (2)$$

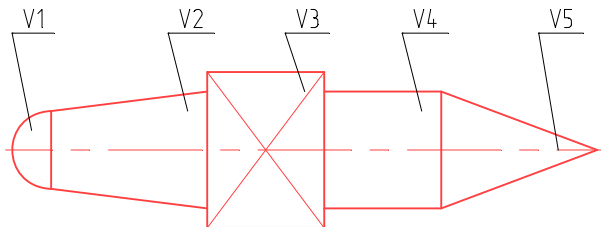


Рис. 5. Представлення об'єму деталі як сукупності об'ємів елементів простої геометричної форми

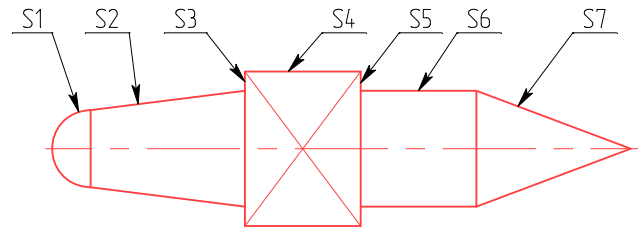


Рис. 6. Представлення площі поверхні деталі як сукупності площ поверхонь об'ємів елементів простої геометричної форми

Визначимо величини площ поверхні елементів (з урахуванням рис. 4):

$$\text{- бічна поверхня елемента 1 - } S_1 = \pi R_1^2 = 3,14 \cdot 10^2 = 314 \text{ мм}^2,$$

$$\text{- бічна поверхня елемента 2 - } S_2 = \pi(R_2 + r_2)\sqrt{h_2^2 + (R_2 - r_2)^2} = 3,14(15^2 + 10^2)\sqrt{40^2 + (15 - 10)^2} = 1060 \text{ мм}^2,$$

- торцева поверхня елемента 3 без частини, що перекривається елементом 2 –

$$S_3 = a_3^2 - \pi R_2^2 = 40^2 - 3,14 \cdot 15^2 = 893,5 \text{ мм}^2,$$

$$\text{- бічна поверхня елемента 3 - } S_4 = 4a_3h_3 = 4 \cdot 40 \cdot 30 = 4800 \text{ мм}^2,$$

- торцева поверхня елемента 3 без частини, що перекривається елементом 4 –

$$S_5 = a_3^2 - \pi R_4^2 = 40^2 - 3,14 \cdot 15^2 = 893,5 \text{ мм}^2,$$

$$\text{- бічна поверхня елемента 4 - } S_6 = 2\pi R_4 h_4 = 2 \cdot 3,14 \cdot 15 \cdot 30 = 2826 \text{ мм}^2,$$

$$\text{- бічна поверхня елемента 5 - } S_7 = \pi R_5 \sqrt{R_5^2 + h_5^2} = 3,14 \cdot 15 \sqrt{15^2 + 40^2} = 2012 \text{ мм}^2.$$

Тоді загальна площа поверхні, згідно з залежністю (7.2), становить

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 = 314 + 1060 + 893,5 + 4800 + 893,5 + 2826 + 2012 = 12799 \text{ мм}^2.$$

Для визначення маси деталі слід її об'єм помножити на густину.

Аналогічним чином можливо визначити об'єм, площу поверхні та масу деталей інших довільних форм. Якщо деталь має порожнини, то при розрахунку загального об'єму їх об'єм віднімається, а при визначенні загальної площі поверхні їх площа поверхні додається.

Як приклад практичної реалізації принципу декомпозиції було реалізовано програмний додаток (рис. 7).

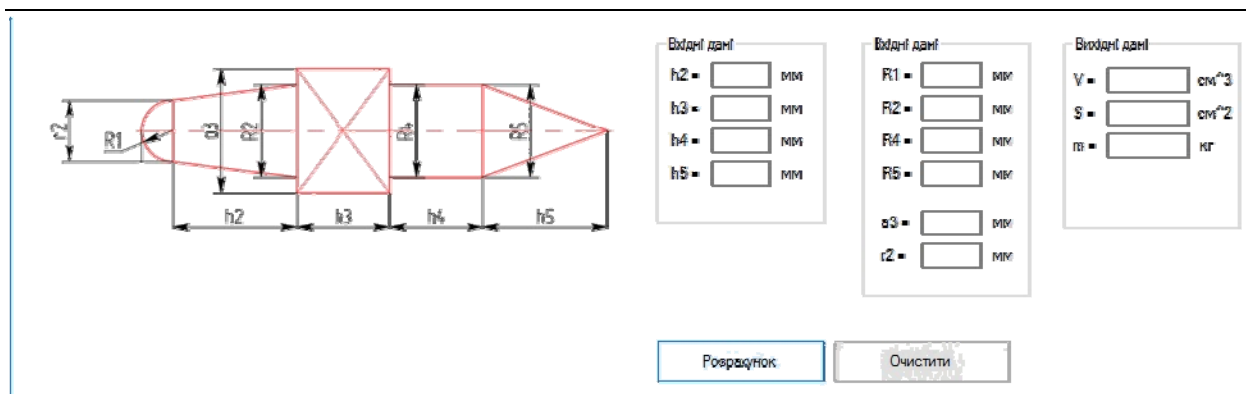


Рис. 7. Вікно програми

Лістинг програми

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
namespace lab7
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        static double rho = 7.850; //г/мм^3 - густина сталі
        double V, S, h2, h3, h4, h5, R1, R2, a3, R4, R5, r2, m = 0;
        private void textBox3_TextChanged(object sender, EventArgs e)
        private void textBox1_TextChanged(object sender, EventArgs e)
        public double volume() //об'єм
        {
            double v1, v2, v3, v4, v5;
            v1 = (4 * Math.PI * Math.Pow(R1, 3)) / 6;
            v2 = (Math.PI * h2 / 3) * (Math.Pow(R2, 2) + R2 * Math.Pow(r2, 2));
            v3 = Math.Pow(a3, 2) * h3;
            v4 = Math.PI * Math.Pow(R4, 2) * h4;
            v5 = (Math.PI * Math.Pow(R5, 2) * h5) / 3;
            V = (v4 + v3 + v5 + v1 + v2) / 1000; //сантиметри кубічні
            return V;
        }
        public double square() //площа поверхні
        {
            double s1, s2, s3, s4, s5, s6, s7;
            s1 = Math.PI * Math.Pow(R1, 2);
            s2 = Math.PI * (R2 + r2) * Math.Sqrt(Math.Pow(h2, 2) + Math.Pow(R2 - r2, 2));
            s3 = Math.Pow(a3, 2) - Math.PI * Math.Pow(R2, 2);
            s4 = 4 * a3 * h3;
            s5 = Math.Pow(a3, 2) - Math.PI * Math.Pow(R4, 2);
            s6 = 2 * Math.PI * R4 * h4;
            s7 = Math.PI * a3 * Math.Sqrt(Math.Pow(R5, 2) + Math.Pow(h5, 2));
            S = (s1 + s2 + s3 + s4 + s5 + s6 + s7) / 100; //сантиметри квадратні
            return S;
        }
        public double weight() //маса
        {
            m = rho * V / 1000; //кілограми
            return m;
        }
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {
        }
        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
    }
}

```

```

    {
        h2 = Convert.ToDouble(textBox3.Text);
        h3 = Convert.ToDouble(textBox4.Text);
        h4 = Convert.ToDouble(textBox1.Text);
        h5 = Convert.ToDouble(textBox5.Text);
        R1 = Convert.ToDouble(textBox13.Text);
        R2 = Convert.ToDouble(textBox8.Text);
        a3 = Convert.ToDouble(textBox12.Text);
        R4 = Convert.ToDouble(textBox6.Text);
        R5 = Convert.ToDouble(textBox7.Text);
        r2 = Convert.ToDouble(textBox14.Text);
        textBox9.Text = Convert.ToString(volume()); //см^3
        textBox10.Text = Convert.ToString(square()); //см^2
        textBox11.Text = Convert.ToString(weight()); //кілограми
        //label11.Text = volume();
    }
    private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        textBox1.Clear();
        textBox3.Clear();
        textBox4.Clear();
        textBox5.Clear();
        textBox6.Clear();
        textBox7.Clear();
        textBox8.Clear();
        textBox12.Clear();
        textBox13.Clear();
        textBox14.Clear();
        textBox9.Clear();
        textBox10.Clear();
        textBox11.Clear();
    }
}

```

Висновки

На основі проведеного аналізу визначено напрямки підвищення конкурентоспроможності, які полягають у застосуванні технологій комп'ютерного проектування. Як один з базових принципів при реалізації технологій комп'ютерного проектування об'єктів діяльності розглянуто принцип декомпозиції. Застосування принципу декомпозиції продемонстровано на конкретному прикладі з реалізацією програмного застосування.

Література

1. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / Ли К. – СПб : Питер, 2004. – 560 с.
2. Шалумов А.С. Введение в CALS-технологии / Шалумов А.С., Никишкин С.И., Носков В.Н. – Ковров : КГТА, 2002. – 137 с.
3. Вендров А.М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем / Вендров А.М. – М. : Финансы и статистика, 2008. – 175 с.

References

1. Li K. Osnovyi SAPR (CAD/CAM/CAE) / Li K. – SPb.: Piter, 2004. – 560 s.
2. Shalumov A.S. Vvedenie v CALS-tehnologii / Shalumov A.S., Nikishkin S.I., Noskov V.N. - Kovrov: KGTA, 2002. - 137 s.
3. Vendrov A.M. CASE-tehnologii. Sovremennyye metody i sredstva proektirovaniya informatsionnyih sistem / Vendrov A.M. – M.: Finansy i statistika, 2008. – 175 s.

Рецензія/Peer review : 26.03.2018 р.

Надрукована/Printed : 24.05.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сорокати́й Р.В.

ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОДАЖІВ КОМП'ЮТЕРНИХ ІГОР

В результаті виконання комплексу робіт було створено експертну систему прогнозування продажів комп'ютерних ігор. Експертна система реалізована як web-ресурс з використанням мови програмування PHP на базі фреймворку Yii із застосуванням системи керування базами даних Microsoft SQL Server 2012. Реалізоване інтернет-застосування забезпечує клієнтів швидким та зручним доступом до новинок ринку ігрової індустрії. За потреби сайт можна з легкістю розширити, додати нові характеристики та функціональні можливості.

Ключові слова: експертна система, прогнозування продажів, web-застосування, комп'ютерні ігри

V.M. KRAVCHUK, O.A. PASICHNYK

Khmelnytsky National University

INFORMATION TECHNOLOGY FOR FORECASTING SALES OF COMPUTER GAMES

Currently, the Internet is a media which helps to develop and brings considerable profit in the various spheres of human activity, and trade in particular. Effective information tool for solving such problems is the Internet-shop. One of highly profitable products, which also naturally integrated into e-Commerce are computer games. The current global trend is the approach of tools of the trade to the end user. Objectively, it leads to the appearance of local resources in spite of the global offering. This leads to the need for small, often specialized resources. On the other hand, the average and especially small business has a reduced stress, and, accordingly, requires particular attention in respect of the volumes and nomenclature of orders. Considering the above circumstances to the one-piece is the implementation of an Internet resource for the sale of computer games that includes marketing tools for the analysis and forecasting of sales. The aim of this work was the development of software for video game sales, with an analysis of current and forecasting of future sales. This software product should perform the function view the current sales trends and forecasting future depending on the genre. Realty-in expert system provides analysis and automation of information flows. A software application was implemented in PHP as a modern, easy to use, not complicated to learn and quick in the development of the programming language. With the implementation of the software was used by one of the popular platforms for developing web applications, Yii. Securely store data and provide on-line access to it the software application was implemented using Microsoft SQL Server. To implement individual modules used Javascript. The result of executing the complex of works was created expert system for forecasting sales of computer games. The expert system is implemented as a web resource using the PHP programming language on the basis of Yii framework with application of database management system Microsoft SQL Server 2012. Realtown Internet application provides customers quick and easy access to the novelties of the market of the gaming industry. If necessary, the site can easily expand to add new features and functionality.

Keywords: expert system, forecasting sales, web applications, computer games.

В даний час Інтернет є одним із засобів інформації, який допомагає розвиватися та приносить значний прибуток в різних сферах людської діяльності, й торгівлі зокрема [1]. Ефективним інформаційним інструментом задля вирішення таких задач є Інтернет-магазин [1].

Інтернет-магазин (електронний, віртуальний, e-shop) являє собою спеціалізований Web-сайт, який належить фірмі-товаровиробнику, торговій фірмі тощо та призначений для просування споживчих товарів на ринку, збільшення обсягів продажу, залучення нових покупців [1, 2].

Характерними рисами Інтернет-магазинів є те, що вони можуть пропонувати значно більшу кількість товарів та послуг, ніж реальні магазини і забезпечувати споживачів значно більшим обсягом інформації, необхідної для прийняття рішення про покупку. Також завдяки використанню Інтернет-технологій є можливою персоналізація підходу до споживачів з урахуванням попередніх відвідувань магазину та зроблених в ньому покупок та використання Інтернет-магазину як ефективного способу маркетингових досліджень (анкетування, конференції покупців і т.п.) [1, 2].

Одним з високоприбуткових товарів, які до того ж природно інтегруються в інтернет-торгівлю є комп'ютерні ігри.

На сьогоднішній день в мережі інтернет є досить багато сайтів, які займаються продажем комп'ютерних ігор. Серед великої кількості інтернет-магазинів найбільш популярними є «Gabestore» (рис. 1), «Steambuy» (рис. 2)

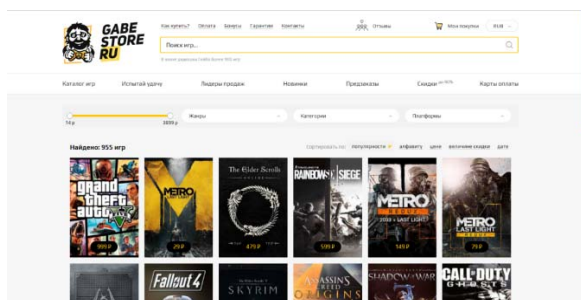


Рис. 1. Головна сторінка сайту «Gabestore»

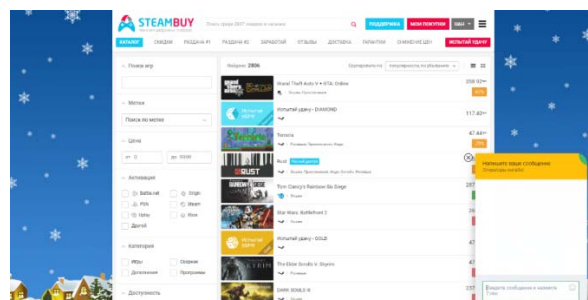


Рис. 2. Головна сторінка сайту «Steambuy»

Сучасною світовою тенденцією є наближення засобів торгівлі до кінцевого споживача. Об'єктивно це призводить до появи локальних ресурсів не зважаючи на наявність глобальної пропозиції. Це обумовлює потребу у невеликих, часто спеціалізованих ресурсах. З іншого боку середній, а особливо дрібний бізнес характеризується зниженою стресостійкістю, й, відповідно, потребує підвищеної уваги щодо обсягів та номенклатури замовлень.

Враховуючи зазначені обставини доцільним є реалізація інтернет-ресурсу по продажу комп'ютерних ігор, що містить маркетинговий інструментарій для аналізу та прогнозуванню обсягів продажів.

Метою роботи була розробка програмного продукту для продажу комп'ютерних ігор з можливістю аналізу поточних і прогнозування майбутніх продажів. Даний програмний продукт повинен виконувати функції перегляду тенденцій поточних продажів та прогнозування майбутніх в залежності від жанру.

Реалізована експертна система забезпечує аналіз та автоматизацію обробки інформаційних потоків. Схема інформаційних потоків в реалізованій системі наведена на рис. 3 а спрощена інфологічна модель бази даних інтернет-магазину – на рис. 4.

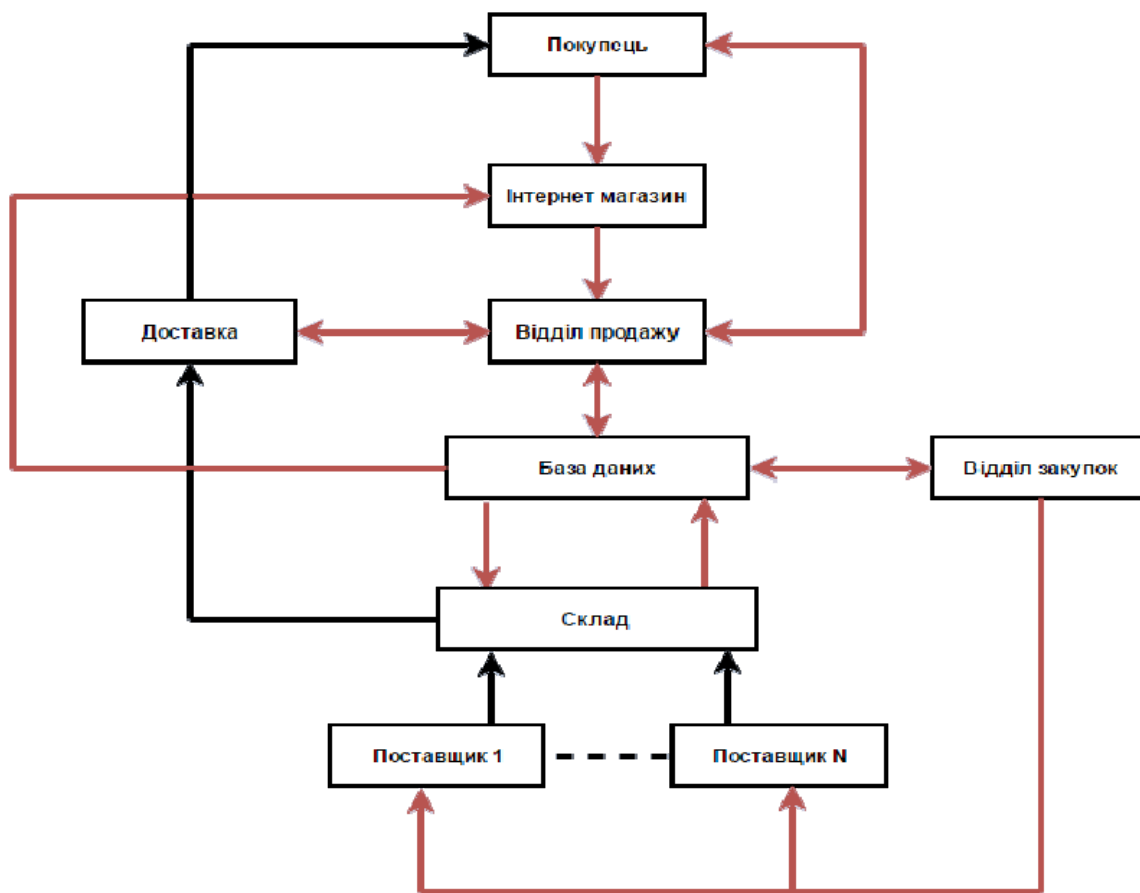


Рис. 3. Матеріальні та інформаційні потоки інтернет-магазину

Програмне застосування було реалізовано на мові PHP, як сучасній, зручній в використанні, не складній в освоєнні та швидкій при розробці мови програмування.

PHP – скриптова мова програмування, яка була створена для генерації HTML-сторінок на стороні веб-сервера. PHP є однією з найпоширеніших мов, що використовуються у сфері веб-розробок та підтримується переважно більшістю хостинг-провайдерів [3, 4].

PHP інтерпретується веб-сервером у HTML-код, який передається на сторону клієнта. На відміну від скриптової мови JavaScript, користувач не бачить PHP-коду, оскільки браузер отримує готовий HTML-код, що є перевагою з точки зору безпеки, але погіршує інтерактивність сторінок.

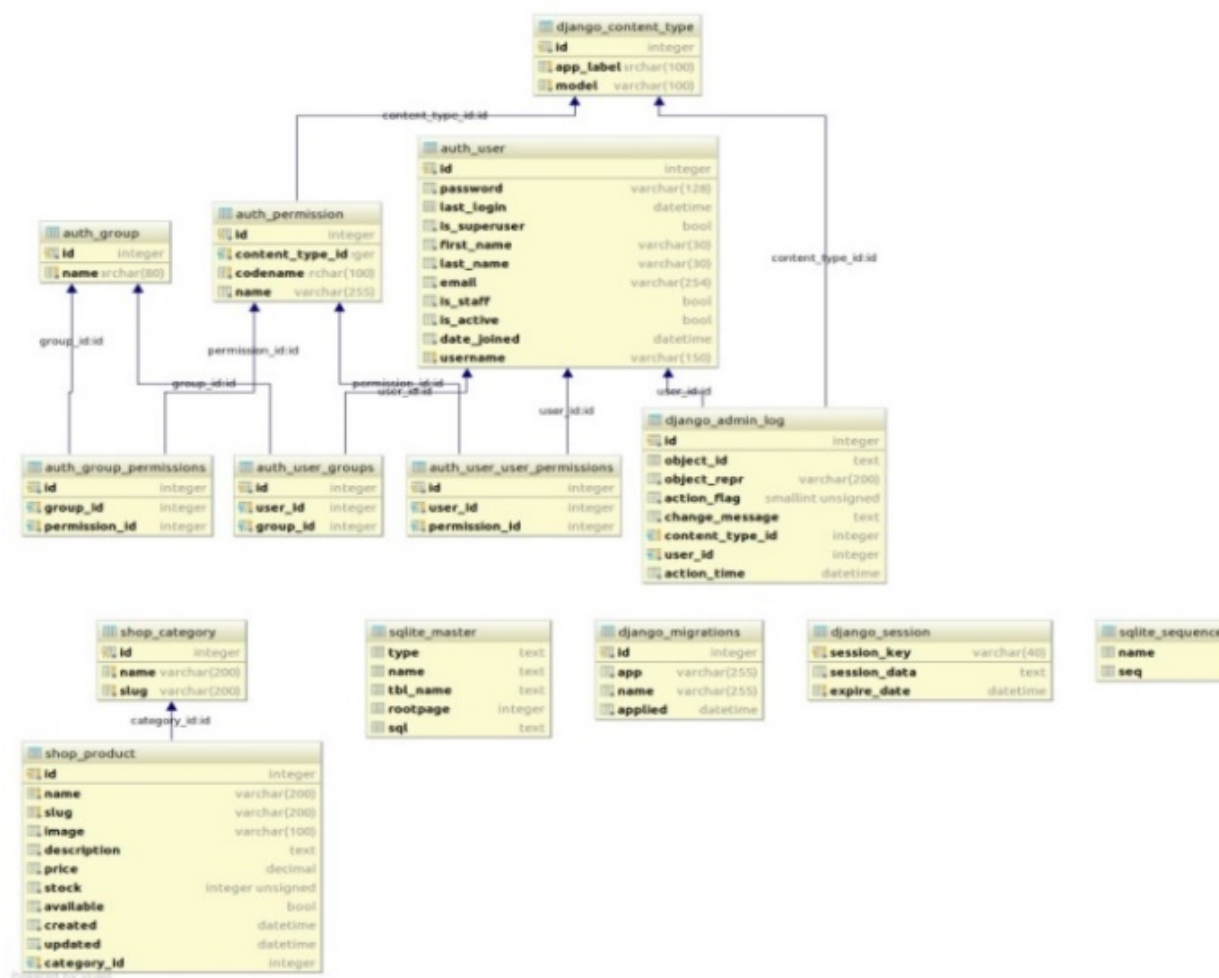


Рис. 4. Інфологічна модель бази даних

При реалізації програмного забезпечення було використано одну з популярних платформ для розробки веб-додатків Yii.

Yii – це фреймворк для веб-програмування загального призначення, який може бути використаний для розробки практично будь-яких веб-додатків. Завдяки своїй легкості та наявності просунутих засобів кешування, Yii особливо підходить для розробки додатків з великим потоком трафіку, таких як портали, форуми, системи управління контентом, системи електронної комерції, тощо [5].

Як і більшість інших PHP-фреймворків, Yii – це MVC-фреймворк. Перевага Yii над іншими фреймворками полягає в ефективності, широких можливостях і якісній документації. Yii спочатку спроектований дуже ретельно щодо відповідності всім вимогам при розробці веб-додатків.

Для надійного зберігання даних та забезпечення оперативного доступу до них програмне застосування було реалізоване з використанням СКБД Microsoft SQL Server.

Microsoft SQL Server є комерційною системою керування базами даних, що розповсюджується корпорацією Microsoft. Мова, що використовується для запитів – Transact-SQL, створена спільно Microsoft та Sybase. Transact-SQL є реалізацією стандарту ANSI/ISO щодо структурованої мови запитів SQL із розширеннями. Використовується як для невеликих і середніх за розміром баз даних, так і для великих баз даних масштабу підприємства. Багато років вдало конкурує з іншими системами керування базами даних [6].

Для реалізації окремих модулів використовувалася технологія Javascript.

JavaScript – мультипарадигмена мова програмування, що підтримує об'єктно-орієнтований, імперативний та функціональний стилі та є реалізацією мови ECMAScript (стандарт ECMA-262). JavaScript зазвичай використовується як вбудована мова для програмного доступу до об'єктів застосувань. Найбільш широке застосування знаходить в браузері як мова сценаріїв для надання інтерактивності веб-сторінкам [7].

Реалізоване програмне застосування забезпечує прогнозування обсягів продажів комп'ютерних ігор з урахуванням категорії (жанру) (рис. 5).

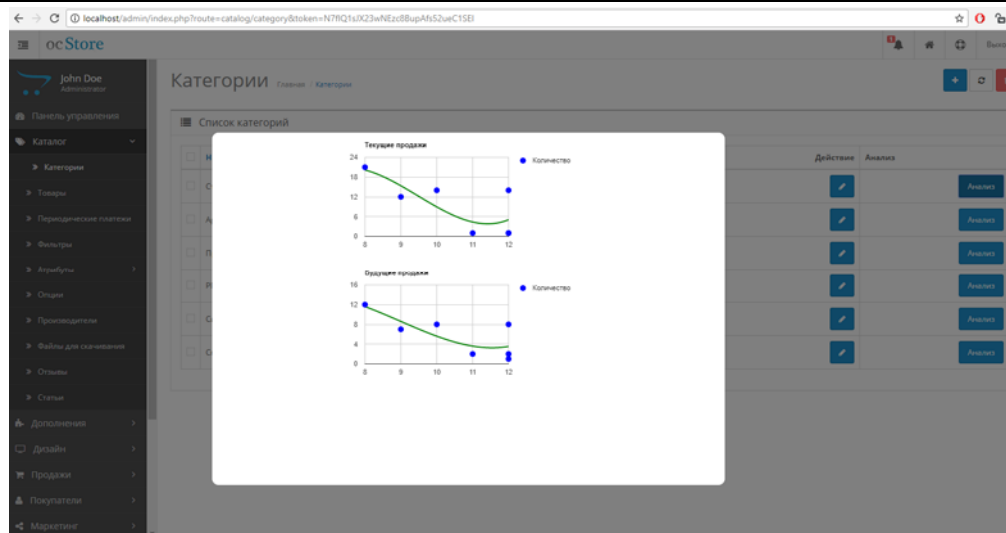


Рис. 5. Робоче вікно експертної системи прогнозування продажів комп'ютерних ігор

Висновок

В результаті виконання комплексу робіт було створено експертну систему прогнозування продажів комп'ютерних ігор. Експертна система реалізована як web-ресурс з використанням мови програмування PHP на базі фреймворку Yii із застосуванням системи керування базами даних Microsoft SQL Server 2012. Реалізоване інтернет-застосування забезпечує клієнтів швидким та зручним доступом до новинок ринку ігрової індустрії. За потреби сайт можна з легкістю розширити, додати нові характеристики та функціональні можливості.

Література

1. Бердышев С.Н. Информационный маркетинг / Бердышев С.Н. – М. : Дашков и Ко, 2010. – 208 с.
2. Баранов А.Е. Прогноз возврата инвестиций в интернет-маркетинг / Баранов А.Е. – М. : РИОР, 2010. – 85 с.
3. Кузнецов М.В. Самоучитель PHP 5/6 / М.В. Кузнецов, И.В. Симдянов. – СПб : БХВ Петербург, 2009. – 672 с.
4. Котеров Д.В. PHP 5 / Котеров Д.В., Костарев А.Ф. – СПб : БХВ Петербург, 2008. – 1104 с.
5. Макаров А.С. Yii. Сборник рецептов / Макаров А.С. – М. : Изд-во «ДМК Пресс», 2013. – 372 с.
6. Бондарь А.Г. Microsoft SQL Server 2012 / Бондарь А.Г. – СПб : БХВ Петербург, 2013. – 608 с.
7. Никольский А.П. JavaScript на примерах / Никольский А.П. – М. : Наука и техника, 2017. – 272 с.

References

1. Berdyishev S.N. Informatsionnyy marketing / Berdyishev S.N. – M.: Dashkov i Ko, 2010. – 208 s.
2. Baranov A.E. Prognoz vozvrata investitsiy v internet-marketing / Baranov A.E. - M.: RIOR, 2010. – 85 s.
3. Kuznetsov M.V. Samouchitel PHP 5/6 / M.V. Kuznetsov, I.V. Simdyanov. – SPb.: BHV Peterburg, 2009. – 672 s.
4. Koterov D.V. PHP 5 / Koterov D.V., Kostarev A.F. – SPb.: BHV Peterburg, 2008. – 1104 s.
5. Makarov A.S. Yii. Sbornik retseptov / Makarov A.S. – M.: Izd-vo «DMK Press», 2013. – 372 s.
6. Bondar A.G. Microsoft SQL Server 2012 / Bondar A.G. - SPb.: BHV Peterburg, 2013. – 608 s.
7. Nikolskiy A.P. JavaScript na primerah / Nikolskiy A.P. – M.: Nauka i tehnika, 2017. – 272 s.

Рецензія/Peer review : 29.03.2018 р.

Надрукована/Printed : 11.05.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сорокати Р.В.

MODERN REFERENCE OSCILLATORS FOR FREQUENCY SYNTHESIS

The main requirements for reference generators are considered. Modern support generators for frequency and signal synthesis systems are considered. The classification of modern reference generators is given. The main classification requirements for auto-generators are considered. Standards of frequency and time, precision quartz generators, microwave generators, reference generators on microelectromechanical resonators are considered. The use of microelectromechanical resonators and other of microelectromechanical elements is an alternative approach to miniaturization and improvement of communication equipment characteristics, simplification of heterodyne architecture, and the creation of multiband transceivers based on high-quality MEMS filters. Using MEMS technology in combination with standard semiconductor IC technology will further enhance integration, significantly reduce the size of devices, improve their characteristics. In addition, the use of MEMS in quartz frequency modulators allows you to significantly improve the basic characteristics of the device. Areas of application of this or that type of resonators as reference generators for systems of synthesis of frequencies and signals are determined. The technology of manufacturing MEMS resonators allowed to create fundamentally new structures of direct frequency synthesizers based on high-quality MEMS-resonators as the main reference generator and a set of high-quality filters designed to form the set of required frequencies. Such a synthesizer can be implemented on a single crystal of silicon, which will make it possible to reduce the cost of production of synthesizers.

Keywords: oscillator; reference oscillator; atomic standards; quartz resonators; MEMS.

O.I. ПОЛІКАРОВСЬКИХ, Л.О. КОВТУН, Л.В. КАРПОВА, І.В. ГУЛА

Хмельницький національний університет

СУЧАСНІ ОПОРНІ ГЕНЕРАТОРИ ДЛЯ СИСТЕМ СИНТЕЗУ ЧАСТОТ І СИГНАЛІВ

У статті розглядаються сучасні опорні генератори для систем синтезу частот і сигналів. Наведено класифікацію сучасних опорних генераторів. Проаналізовано основні класифікаційні вимоги до таких генераторів. Розглянуто стандарти частоти і часу, прецизійні кварцові генератори, генератори НВЧ, опорні генератори на мікроелектромеханічних резонаторах (MEMS). Застосування мікроелектромеханічних резонаторів і інших мікроелектромеханічних елементів є альтернативним підходом мініатюризації і поліпшення характеристик апаратури зв'язку, спрощення архітектури гетеродинів, а також створення мультиполосних трансиверів на основі високодобротних MEMS-фільтрів. Використання MEMS-технології в комплексі зі стандартною напівпровідниковою технологією ІС дозволить в подальшому підвищити рівень інтеграції, значно зменшити габарити пристроїв, поліпшити їх характеристики. Крім того, застосування MEMS в кварцових частотних модуляторах дає можливість істотно покращити основні характеристики пристрою. Визначено області застосування того чи іншого виду резонаторів в якості опорних генераторів для систем синтезу частот і сигналів. Запропоновано нові структурні схеми побудови прямих синтезаторів частот з реалізацією на кристалі кремнію в єдиному технологічному циклі. Технологія виготовлення MEMS резонаторів дозволила створити принципово нові структури прямих синтезаторів частоти на основі високодобротних MEMS-резонаторів в якості основного опорного генератора і набору високодобротних фільтрів, розрахованих для формування набору необхідних частот. Такий синтезатор може бути реалізований на одному кристалі кремнію, який дасть можливість здешевити виробництво синтезаторів.

Ключові слова: автогенератор, опорні генератори, атомні стандарти, кварцові резонатори, MEMS.

Formulation of the problem. Direct digital frequency synthesizers play an important role in modern radio electronic devices. This is provided by many significant advantages: speed of synthesizer tuning from frequency to frequency, high resolution, wide synthesized frequency band. Multilevel DDS, due to its technology, reliability, the possibility of microminiaturization and uniqueness of technical characteristics (the continuity of the phase during switching from frequency to frequency, the possibility of forming complex signals, digital control of the amplitude, frequency and phase of the output swing) have now found application in communication systems. Particularly promising is the use of DDS in radio communication systems with increased noise immunity and security [1]. To date, a number of characteristics of computational frequency synthesizers are lower than those based on PLL synthesizers. Such parameters are low indicators of short-term phase stability (jitter), the existence of harmonic components with high amplitude values in the spectrum of the synthesized signal. One of the directions for improving short-term phase stability is the use of reference generators with improved quality characteristics.

Analysis of research and publications. A lot of authors and scientific teams were engaged in the construction of highly stable reference generators [2–4]. Such generators are very different in average frequency, signal levels and relative frequency instability, which can change from 10^{-3} to 10^{-15} . Periodic oscillations of autonomous generators $u(t)$ are characterized by the average frequency, the shape of the oscillation during its period, and the fluctuations of the current phase. The stability of the frequencies of such generators is estimated by comparing their signals with variations in the secondary frequency standards. The almost harmonic oscillation of the reference oscillator can be written in the form

$$u(t) = u_0[1 + \mu(t)]\sin[2\pi f_0 t + \varepsilon(t) + \varphi_0], \quad (1)$$

where u_0 – is the amplitude and carrier frequency of the reference signal, where $\mu(t)$ and $\varepsilon(t)$ – is its amplitude and phase instabilities, is the initial phase of the oscillation. Immediately after switching on the voltages of the self-excited generators into variables, regular components are

included, which determine the duration of the amplitude setting and the frequency coasting during warm-up. In a fixed temperature regime, the processes that cause amplitude and phase instabilities are random. With continuous operation, a drift of the mean frequency is possible, which is associated with the aging of the stabilizing resonator or the degradation of the vacuum in the flasks of atomic frequency standards. The Relative standard deviation (RSD) from the frequency of the standard is characterized by the error of frequency setting d_{set} . For generators with low stability, the error values drop in hundredths (percent). For generators with medium stability, indicate parts million⁻¹ per million (ppm), in the case of high stability, billions (billion) (parts per billion – ppb) [4].

The nature of the phase and amplitude instabilities determines the spectral power density (SPD) of a periodic oscillation $u(t)$ at a unit resistance, concentrated near the frequency f_0 :

$$S_p(f) = 2 \int_0^{\infty} [u(t)]^2 \cos 2\pi f t dt. \quad (2)$$

Nevertheless, the more correct is the characteristic of oscillations of the oscillator is its SPD of its phase instability $S_\varphi(F)$, where $F = |f - f_0|$ is the detuning from the nominal frequency. Phase instability is uniquely determined by the instability of the cyclic oscillation frequency

$$\Delta f(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\varepsilon(t)}{dt}, \quad (3)$$

and the power spectral density of the phase deviation is related to the SPD of the frequency deviations by the relation

$$S_f(F) = F^2 S_\varphi(F). \quad (4)$$

For a short time, possible phase changes, which are caused by the jitter of the signal front (jitter). Jitter is caused by amplitude and phase noise, both internal and external origin. The jitter of the signal has different characteristics depending on its causes and sources. Jitter is divided into two main categories: random (jitter – RJ) and regular (deterministic jitter – DJ).

Random jitter due to noise processes that occur in all semiconductors and components. It is assumed that this jitter is subject to the Gaussian distribution, and as such, it can never reach its maximum value in a given period of time. Thus, it is characterized by statistical values: the mean value and the standard deviation. The sources of random jitter are:

- thermal noise – associated with the flow of electrons in conductors and increases with increasing bandwidth, temperature and thermal resistance;
- shot noise – noise of electrons and holes in semiconductors, which increases depending on the bias current and the measured frequency band;
- flicker noise – noise, the spectrum of which is inversely proportional to the frequency, the so-called. pink noise;
- noise of power supply ripple;
- noise of external acoustic influences (microphone effect).
- The regular jitter is caused by the processes acting on the signal that occur in the system equipment.

Systemic jitter depends on the characteristics of the digital system. Examples of sources of system jitter:

- crosstalk from synthesized signals;
- influence of dispersion upon signal propagation;
- resistance non-coordination.

The jitter is estimated from the value of the root-mean-square deviation of the phase transition moments through zero and measured in picoseconds.

It is convenient to present a general estimate of the instability of the frequencies of reference generators in the form of the standard deviation of the frequency for a certain time interval. Short-term frequency instability **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** determines the relative standard deviation (RSD) for a time T of duration 1, 10, 100 or 1000 s. This parameter determines the contribution to frequency noise of such natural processes as the shot and thermal noise of the oscillator. The long-term instability of frequency **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** over time **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.** lasting a day, month, year, 10 years – characterizes the effect of aging and degradation of elements.

The value of the reference oscillation frequency of the reference oscillator depends on external destabilizing factors, the main one of which is the ambient temperature. The temperature coefficient of frequency deviation (TCD) is at a nominal temperature in relative fractions of 1°C.

The oscillation form of oscillators of any design is not absolutely harmonic. The distortion characteristic of the harmonic oscillation form is the power level of the higher harmonics in $S_p(f)$ at the frequencies $2f_0$ and $3f_0$ or the power of all parasitic spectral components in a wide frequency band with respect to the power at the reference frequency.

The classification of reference generators is shown in Fig. 1.

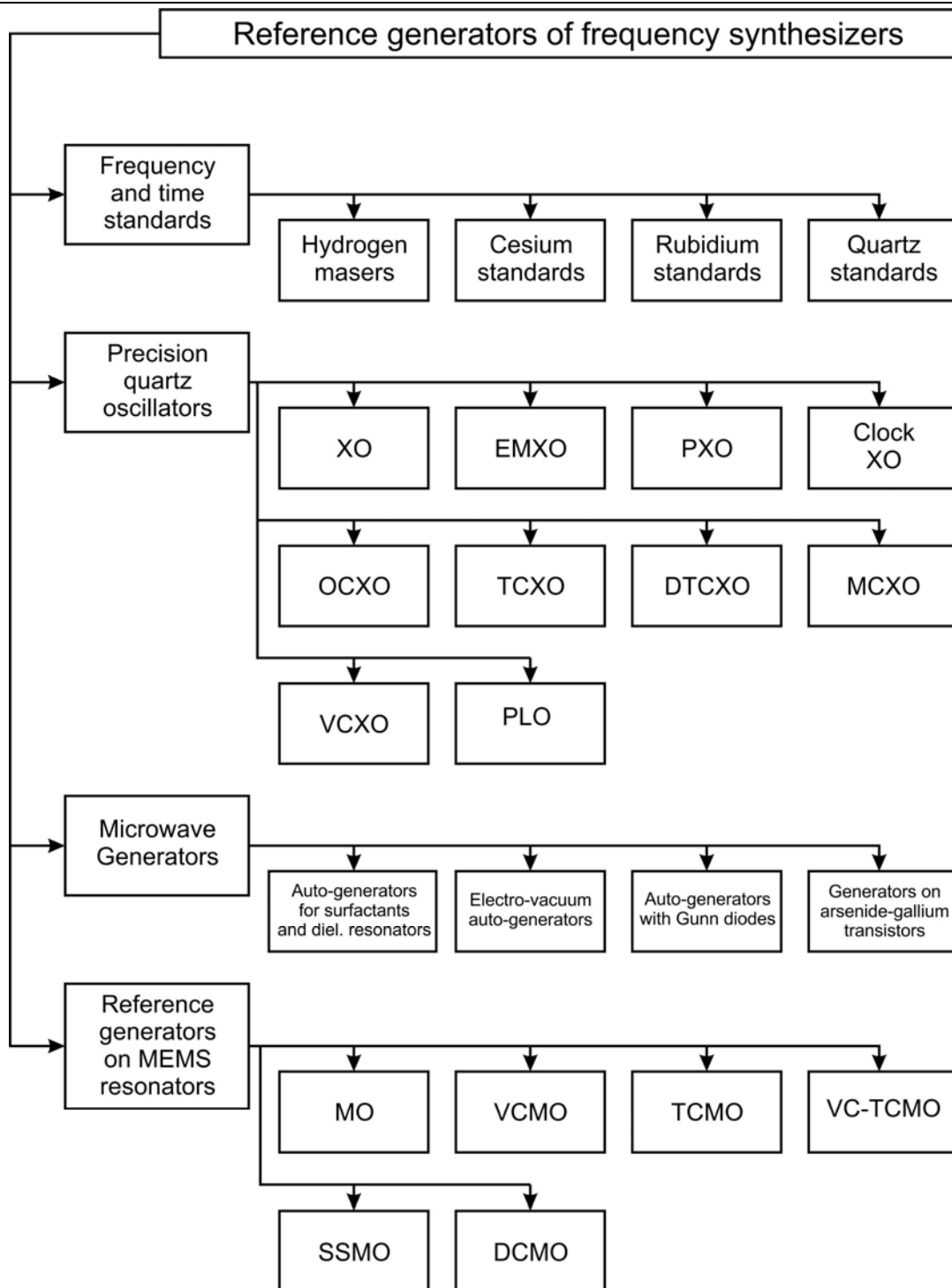


Fig. 1. Classification of reference auto-generators of frequency synthesis systems

The frequency and time standards are highly stable sources of electromagnetic signals (radio frequency range or optical ones). Frequency standards are used as secondary or working standards in metrological measurements, as well as in the production of high-precision instruments for measuring frequency and time, in radio navigation, radio astronomy and in other areas.

Quantum frequency standards are devices in which quantum transitions of particles (atoms, molecules, ions) from one energy state to another are used to accurately measure the oscillation frequency or to generate oscillations with a fairly stable frequency. Quantum frequency standards are usually divided into two classes. In active quantum frequency standards, quantum transitions of atoms and molecules directly lead to the emission of electromagnetic waves, the frequency of which serves as the standard or reference frequency. Such devices are also called quantum generators. In passive quantum frequency standards, the measured oscillation frequency of an external oscillator is compared with the frequency of oscillations corresponding to a certain quantum transition of the selected atoms, i.e. with the frequency of the spectral line.

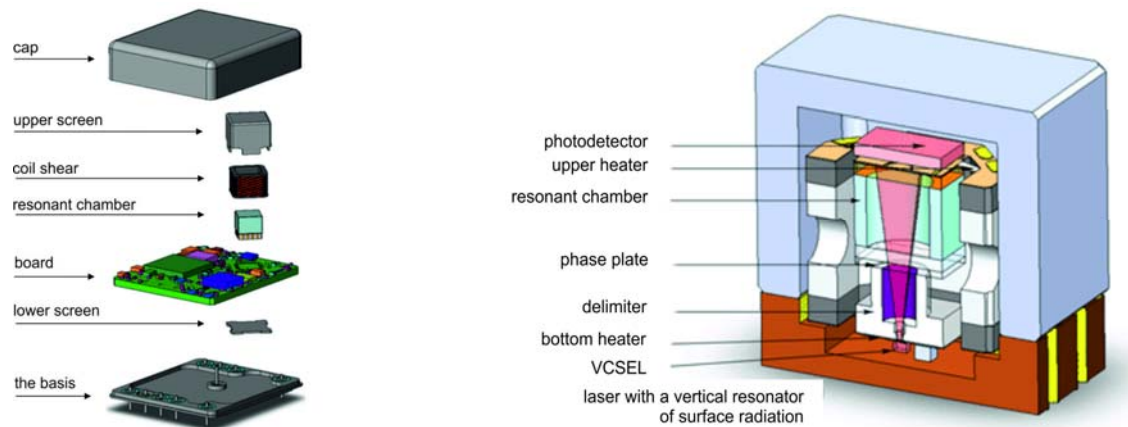


Fig. 2. The internal structure of the frequency standard of Simmetricom on the basis of caesium atoms [4]

Standards can be classified behind the material of the working body of quantum generators (hydrogen, caesium, rubidium, quartz).

The frequency and time standards do not find wide application or occupy a limited niche in frequency and signal synthesis systems mainly because of their weight and energy characteristics. As an exception, we can give an example of a reference caesium standard by Simmetricom (USA) Quantum SA.45s CSAC. This is a quantum frequency standard based on caesium atoms [4]. The internal structure of which is shown in Fig. 2.

Such a standard of frequency and time has outstanding characteristics for its size. See Table 1. However, the high cost of such a reference oscillator does not make it possible to use it in mass frequency synthesizers. Applications are limited to specialized scientific and military equipment.

Table 1

Comparative characteristics of high-precision reference generators

	<i>TCXO</i>	<i>OCXO</i>	<i>Atomic Standard</i>	<i>Atomic Standard CSAC</i>
Amount	0,07 cm ³	52 cm ³	122 cm ³	16 cm ³
Power at 25 °C	20 mW	3 W	10 W	120 mW
Exit delay	731 μs	69 μs	1,7 μs	2,3 μs
Initial accuracy	$< 1 \cdot 10^{-6}$	$< 1 \cdot 10^{-7}$	$< 5 \cdot 10^{-11}$	$< 5 \cdot 10^{-11}$
Temperature coefficient	$\pm 3 \cdot 10^{-7}$	$\pm 3 \cdot 10^{-8}$	$\pm 3 \cdot 10^{-10}$	$\pm 1 \cdot 10^{-9}$
Cost	low	high	high	high

Microwave generators are used in the frequency bands from 300 MHz to 100 GHz. Stabilization of their generation frequency by quartz resonators is impossible, therefore, either the requirements for frequency stability are reduced, or other types of stabilizing resonators are used, or the means for phase synchronization of the frequency of microwave oscillations are used by frequency standards.

The quality of the reference microwave generators is estimated by additional parameters that characterize the effect of the phase of the reflection coefficient on the load and variations in the supply voltage on the frequency.

The self-excited oscillators on SAW are characterized by an increased output power and a low level of phase noise up to +10 - +23 dBm. So the value of the white phase noise of the modern generators is extremely low – 175 dB/Hz with the detuning of 100 kHz from the frequency of 2 GHz [5].

The use of dielectric resonators permits an increase in the output frequency to 30 GHz at a stability of 100-400 ppm. Phase noise near the reference frequency of generators of fixed frequencies with sapphire resonators on the range of 8-10 GHz and output power +13 dBm is very low. The DRO-1000-XX series generates an internal power supply voltage regulator, means for reducing the microphone effect, and a power amplifier to the level of +13 to +25 dBm at frequencies up to 26 GHz [5]. The technique of disk dielectric resonators permits the creation of microwave generators, which exceed the stability of quartz and even atomic devices. While the use of this technique is constrained by the problem of repeatability of parameters from one copy of the resonator to another and a high manufacturing cost. Millimeter-wave mill generators of the DRO-FT-10 series use arsenide-galvanic field effect transistors with a Schottky gate (MESFET) or Gunn diodes [4].

A group of electronic components of the PLO series adjoins the reference oscillators, which serves to transfer the stability upward in frequency: multipliers of high frequency and phase locked loop (PLL) [6]. Unlike full-scale synthesizers of a grid of stable frequencies, there are no means for organizing a small step in frequency: the required output frequency is specified in the output generator with a quartz resonator. Due to this simplification of the internal structure, the contribution of these components to the phase instabilities is small.

For frequency synthesis systems and signals that are massively used in industry in the mid-frequency ranges, as a rule, high-precision quartz generators are used as self-oscillators. Auto-generators based on quartz resonators are divided into a large number of groups: Conventional crystal oscillators (Crystal oscillator – XO); Vacuum miniature (Evacuated miniature – EMXO); Precision (Precision ... – PXO); Clock (Clock XO);

thermostabilized (Oven controlled ... – OCXO); Temperature compensated ... (TCXO); with digital compensation (Digitally compensated ... – DTCXO); with microprocessor compensation (Microprocessor compensated ... – MCXO); controlled by voltage in frequency (Voltage controlled ... – VCXO); phase locked (Phase locked ... – PLO).

Auto-generators based on quartz resonators have a well-known number of advantages over other types of self-excited generators, however, they have a number of disadvantages. An important drawback in terms of their use in frequency synthesis systems and signals, there is a small frequency range. The main resonance frequency of quartz resonators does not exceed 40 MHz. Only the use of higher harmonics of a quartz resonator makes it possible to increase this range, however, the quality factor of the resonator decreases, and consequently the frequency instability of the synthesized signals increases. Another problem is the phenomenon of aging of the resonator, which is observed in the first year of operation of the resonator. Also for quartz resonators, the strong dependence of the resonator on the ambient temperature is characteristic. To combat this phenomenon, higher mechanical harmonics are used for the temperature stabilization of the fundamental frequency of oscillations [3].

Built-in digital or microprocessor thermal compensation schemes provide precise frequency stability in extended temperature range. Such MCXO circuits provide frequency instability at the level of $1 \cdot 10^{-9}$. Phase noise near the reference frequency for different models of quartz resonators is significantly different, their level may be significantly lower than for some atomic standards.

The use of quartz oscillators as a reference for frequency synthesis systems and signals is a common practice today. This is ensured by their tactical and technical characteristics and relatively low cost. Nevertheless, the constructive limitations of quartz generators do not provide an opportunity to reduce costs, improve manufacturability, and apply group and integral methods of manufacturing resonators.

An interesting alternative to quartz resonators in frequency and signal synthesis systems is auto-generators on MEMS resonators. In recent years, a fundamentally new technology for the implementation of microelectromechanical resonator devices has been widely adopted, which is a joint technology with the standard technology for fabricating IP. Thus, potentially, those devices that are currently manufactured on discrete elements can be implemented as a system on a single chip. In addition, simultaneously with the microminiaturization of the application, MEMS technology opens up new possibilities in the development of communication and signal synthesis equipment, radically changing its architecture simultaneously with the improvement of basic characteristics such as Q-factor, power consumption, noise level and bandwidth of the filter channel. See comparison table 2.

Table 2

Comparison of the parameters of the quartz resonator with the MEMS resonator

Parameter	Quartz Crystal Resonator TCXO	MEMS resonator
The size	2-5 mm	400 μ m
Frequency	1-80 MHz	1-50 MHz
Quality Q ($\times 10^3$)	100-200	75-150
CMOS integration capability	Impossible	perhaps
Casing	Ceramic or metal housing	Possible plastic
Aging (for the first year)	3-5 ppm	3 ppm
Compensated temperature stability	1-10 ppm	1-10 ppm
Resistance to shock and vibration	low	high
Cost	high	low

To date, the following parameters have been achieved [2]: electromechanical resonators that operate in the frequency range 8-1800 MHz with a quality factor of 20,000...30000, respectively; controlled high-Q microcapacitors with a quality factor of several thousand in the frequency range of units of tens of megahertz, and at microwave frequencies – several hundred (for example, $Q=500$ at a frequency of 2 GHz); volumetric coils of inductance with $Q > 10$ at a frequency of up to several gigahertz.

MEMS resonators of the type and application are divided (see Fig.1) into: (MO – Oscillator) with a stability of 20-100 ppm, MEMS – voltage controlled resonators (VCMO – Voltage Controlled Oscillator) with a stability of <50 ppm, MEMS – temperature compensated resonators (TCMO – Temperature Compensated Oscillator) with a stability of 0.5-5 ppm, MEMS resonators with temperature compensation with voltage control (VC-TCMO – Voltage Controlled TCMO) with a stability of 0.5-5 ppm, MEMS – resonators with spreading (SSMO – Spread Spectrum Oscillator) with a stability of 20-100 ppm, MEMS – resonators with input frequency control (FSMO – Frequency Select Oscillator) stability of 20-100 ppm, MEMS – resonators with digital control (DCMO – Digitally Controlled Oscillator) with the stability of 0.5-100 ppm.

Micromechanical resonators can be divided into: resonators with radial, longitudinal and transverse vibrations of the resonating element. In general, the micromechanical resonator consists of immovable control electrodes, one of which is supplied with a constant control voltage, to other alternating input signals. In this case, the resonating part 1 and the signal electrodes form capacitive gaps. To operate the device, a constant control voltage is applied to the structure, and when the variable input signal acts on the electrodes, a time-varying

electrostatic field is generated that causes the moving part of the structure to oscillate. The topologies of microresonators, which are realized using MEMS technology, are quite numerous. The choice of topology is determined by the frequency range and stability. The resonance frequency of a MEMS resonator depends on the properties of the material of the structure and its geometry. Differences in the design of electromechanical transducers, configurations and dimensions of the resonating element allow to vary the basic parameters of an equivalent oscillatory circuit. Such as resonance frequency, quality factor, equivalent series resistance and phase noise level.

The advantages of disk resonators are their high quality factor. The disadvantages of such resonators include a significant amount of bias voltage – about 35...70V, and a high equivalent resistance of about 30 kOhm. A promising area of application is mobile communication systems.

The disadvantage of a "fixed-beam" type resonator is a significant equivalent resistance of 4-8 kOhm. Resonators of this type operate in the range 5-17.5 MHz and are characterized by a low level of intermodulation distortion.

The combed MEMS resonator of longitudinal oscillations is the most high-quality among MEMS resonators made of polysilicon. The device is oriented to use in auto-generators with excitation at a frequency of a series resonance. The value of Q of such resonators is $Q = (50..500) \cdot 10^3$. The level of phase noise is -168 dBm / Hz with a detuning of 5 kHz from the reference and the power of the reference is no more than -14.5 dBm. The main disadvantage of this type of resonators is the low resonance frequency $f_0 = (15..100) \text{ kHz}$, which limits their field of application.

Thus, existing types of MEMS-resonators have the following characteristics: Q-factor in the range (1261...500000), equivalent resistance (1...500), $TCH > (12.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})$, the bias voltage V_P – (5...70) V, and are applied in a wide frequency range – (0,015-2000) MHz. The use of thermal compensation devices allows maximizing the value of the TMS of MEMS resonators to the TFC value of the quartz AT-cut resonator whose temperature coefficient (at temperatures $(-73...+97) \text{ } ^\circ\text{C}$) is in the range $(-2...2) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Equivalent resistance of MEMS resonators and nonlinearity of conversion significantly exceed the analogous characteristics of high-Q quartz resonators; however, MEMS devices have much smaller dimensions and can be realized on a crystal, which makes promising their use in frequency and signal synthesis systems, in particular for creation of MEMS filters with high Q-factor, low level of introduced losses, narrow bandwidth of the channel and sharp decrease in frequency response.

The technology of manufacturing MEMS resonators allows creating fundamentally new structures of direct frequency synthesizers based on high-quality MEMS resonators as the main reference generator and a set of high-quality filters designed to form a set of necessary frequencies, see Fig.3. Such a synthesizer can be realized on a single silicon chip, which will make it possible to reduce the cost of producing synthesizers.

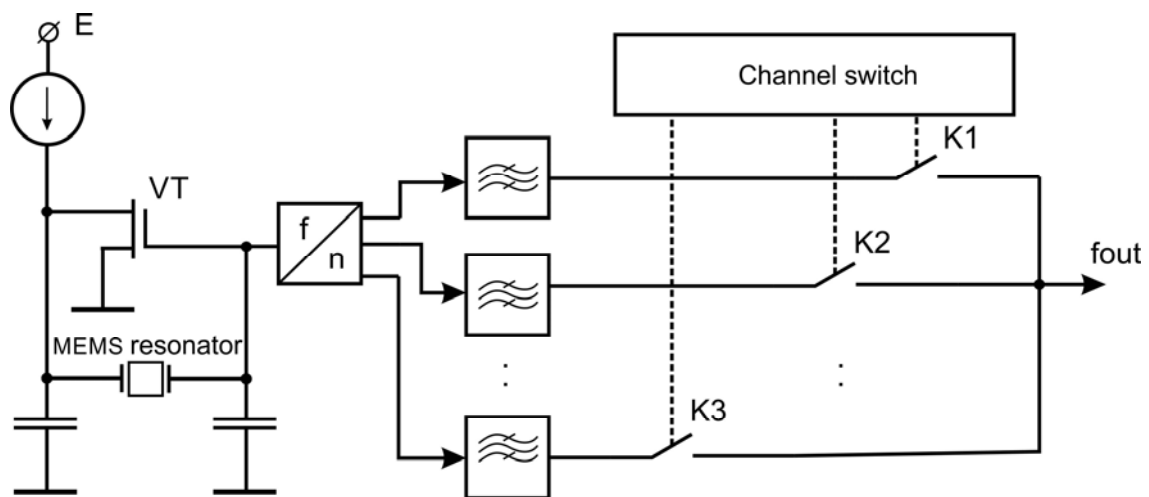


Fig. 3. Direct frequency synthesizer based on MEMS resonator and a set of filters

The synthesizer can also be realized as a set of high-quality MEMS resonators manufactured for the synthesis of known frequencies (see Fig. 4). Nevertheless, the second option has a longer time to go into operation after commutation, but has the unconditional advantage of a more accurate synthesis of reference frequencies, which is achieved by an accurate calculation of the resonators and their manufacture.

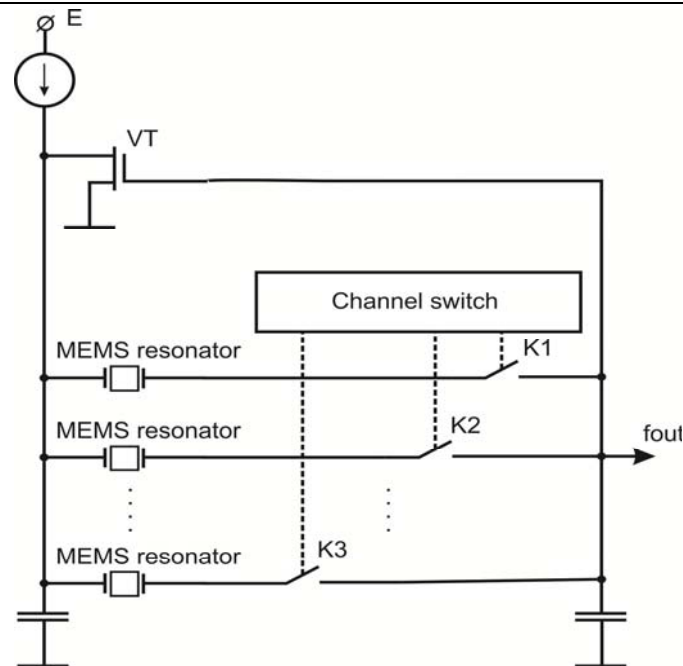


Fig. 4. Direct frequency synthesizer based on a set of high-quality MEMS resonator

Conclusions. The main requirements for reference generators are considered. Modern support generators for frequency and signal synthesis systems are considered. The classification of modern reference generators is given. The main classification requirements for auto-generators are considered. Standards of frequency and time, precision quartz generators, microwave generators, reference generators on microelectromechanical resonators are considered. Areas of application of this or that type of resonators as reference generators for systems of synthesis of frequencies and signals are determined. New structural schemes for constructing direct frequency synthesizers with the realization of silicon in a single technological cycle are proposed.

References

1. Polikarovskiykh O.I. The new type of phase accumulator for DDS // CriMiCo 2007 – 2007 17th International Crimean Conference – Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings. 2007. – S. 267–268.
2. Kolpakov F.F. Mikrojelektromehaniicheskie ustrojstva v radiotekhnike i sistemah telekommunikacij / F.F. Kolpakov, N.G. Borzjak, V.I. Kortunov. – Harkiv : HAI, 2006.
3. Pidchenko S.K. Modeljuvannja termokompensovanogo DDS v seredovyshhi Matlab / Pidchenko S.K., Markov S.V., Laba O.A., Akulinichjev A.A. // Vymirjuval'na ta obchysljuval'na tehnika v tehnologichnyh procesah. – 2010. – № 1. – S. 77–80.
4. Symmetricom // Datasheet Quantum SA.45s CSAC Chip Scale Atomic Clock. URL: <http://www.symmetricom.com/resources/download-zibrary/documents/datasheets/quantum-sa45s-csac/>;
5. Belov L. Komponenty generatorov stabil'noj chastoty. Generatory, upravljajemye naprjazheniemju. – Jelektronika: NTB. – 2004. – № 1. – S. 42.
6. Belov L. Opornye generatory. – Jelektronika: NTB – 2004. – № 6. – S. 38.

Рецензія/Peer review : 07.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 17.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ У ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЯХ ЗВ'ЯЗКУ

Розглянуто способи несанкціонованого доступу до інформаційних потоків у волоконно-оптичних лініях зв'язку та способи їх захисту. Проаналізовано можливі варіанти реалізації захисту від несанкціонованого доступу. Запропоновано структурні схеми апаратної реалізації керуючих пристроїв для захисту волоконно-оптичної лінії зв'язку. Запропоновано апаратно-програмний метод захисту інформації у волоконно-оптичних лінійних трактах багатоканальних ВОСП-СРК. Запропонований засіб захисту волоконно-оптичної лінії зв'язку показав, що його використання підвищує інформаційну безпеку волоконно-оптичної лінії зв'язку.

Ключові слова: волоконно-оптична лінія зв'язку, захист інформації, несанкціонований доступ.

M.V. VASYLKIVSKYI, R.P. PALAMARCHUK

Vinnitsia National Technical University

INFORMATION PROTECTION IN FIBER-OPTIC COMMUNICATION LINES

The analysis of possible ways of unauthorized access in fiber optic communication lines and means of their protection was made. Also was analyzed are the basic methods of protecting the fiber-optic communication line from unauthorized access, which eliminate the ability to intercept information. Possible options for implementation of protection against unauthorized access are analyzed. The structural schemes of the hardware implementation of control devices for the protection of the fiber optic communication line are proposed. The proposed remedy of protection for fiber-optic communication line showed that its use enhances the security of the fiber-optic communication line. The modified method for controlling the security of a multichannel fiber-optic communication line (FOCL) is considered in the article, which allows determining the time and place of unauthorized access (UA). At the heart of this method is the technology of measurement reflectometry and the method of statistical analysis of quantitative indicators of the quality of the operation of the fiber optic communication line with the use of error criterion. The proposed method of FOCL control is based on the simultaneous use of hardware and software, which allows to improve the efficiency of the protection of information flows through the additional processing of information signals transmitted by the FOCL and to increase compliance indicator and accuracy of determining the location of unauthorized access to optical channels. An overview of the main types of hardware and software protection fiber optic communication lines showed a number of objective shortcomings of existing methods and created the prerequisites for the use of combined information security tools in the fiber optic transmission systems. The proposed method makes it possible to effectively determine the presence of unauthorized access. The advantage of this method is that this method can be implemented as in simple networks and in expanding networks. Additional computer use allows you to analyze and predict possible changes in the power of optical signals and to set the location of unauthorized access using reflectometer that can work by using PC according to the proposed algorithm.

Keywords: fiber-optic communication lines, information protection, unauthorized access.

Вступ

В сучасних телекомунікаційних мережах на базі волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) існує проблема несанкціонованого доступу (НД) в лінійний тракт [1, 2]. Способи несанкціонованого підключення до волоконно-оптичного кабелю (ВОК), що відомі як «fiber tapping», можна поділити на дві категорії. До першої категорії відносяться способи, які передбачають переріз оптичного волокна для подальшого підключення за допомогою спеціального пристрою зчитування (перехоплення) інформації [3]. До другої категорії відносяться способи, що передбачають порушення розповсюдження хвилі в оптичному волокні (ОВ), а отже втручання в інформаційний потік даних без перерізу ОВ [4].

Існуючі методи захисту або мінімізації можливостей здійснення несанкціонованих підключень в певній мірі дозволяють підвищити захищеність інформаційних потоків у ВОЛЗ. При цьому розрізняють три групи методів, а саме [5]: моніторинг цілісності кабелю та контроль рівня потужності оптичних сигналів; використання волокна з підвищеним коефіцієнтом гнучкості; шифрування інформаційних сигналів за допомогою криптографічних методів.

Вказані методи запобігають основним способам несанкціонованого підключення до оптичного волокна, але характеризуються низькою точністю встановлення місця НД у ВОЛЗ.

Наведена аргументація підтверджує своєчасність та актуальність поставленої науково-практичної задачі, розв'язання якої потребує розвитку методів та практичних положень для побудови засобів контролю НД у ВОЛЗ.

Метою роботи є підвищення точності засобів встановлення місця НД у ВОЛЗ за рахунок додаткового оброблення інформаційних сигналів, що передаються у ВОЛЗ.

Для досягнення заданої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- виконати аналіз особливостей апаратного та програмного підходу при реалізації методів захисту ВОЛЗ від НД;

- здійснити розробку методу захисту ВОЛЗ від НД;

- розробити структури засобів контролю захищеності ВОЛЗ.

Аналіз особливостей апаратного та програмного підходу при реалізації методів захисту ВОЛЗ від НД

Основним апаратним методом виявлення несанкціонованого доступу є метод контролю рівня потужності оптичних сигналів на вході оптичного приймача. При зменшенні рівня потужності оптичних сигналів, що відповідає виникненню НД приймається рішення про перенаправлення інформаційних потоків на інші маршрути передавання. При цьому, для забезпечення точності методу необхідно забезпечити

постійний рівень потужності оптичних сигналів у ВОЛЗ за умови задіяного типу кодування, який не залежить від виду інформаційних сигналів, що передаються [4]. Отже, зменшення контрольованого значення рівня потужності оптичних сигналів зумовлює спрацювання аварійної сигналізації. Ефективним способом виявлення підключень до ВОЛЗ є використання оптичних рефлектометрів, оскільки інші варіанти контролю передбачають додаткові під'єднання до волокна, які спричиняють додаткове затухання потужності оптичних сигналів. Сутність рефлектометричного методу полягає в тому, що в досліджуване ОВ подається потужний короткий імпульс та реєструється випромінювання, що розсіюється в зворотному напрямку на всіх неоднорідних ділянках ОВ, за інтенсивністю якого можна аналізувати розподілені втрати потужності оптичного сигналу на всій довжині ВОЛЗ до 120 км. Порівняння записаних еталонних рефлектограм в пам'яті комп'ютера, що виконані при різних параметрах зондуючого сигналу з відповідними поточними рефлектограмами може забезпечити контроль захищеності ВОЛЗ з точністю по локальному відхиленню рефлектограм не більше ніж на 0,1 дБ. Перевищення порогу відхилення рефлектограми свідчить про присутність НД до ОВ у визначеній точці тракту. Отже, за допомогою рефлектометрів можна встановити відстань до точки несанкціонованого підключення в тракті передачі інформаційних потоків [4].

Крім апаратних методів також використовуються програмні методи захисту оптичних інформаційних сигналів у ВОЛЗ. В основі переважної більшості програмних методів захисту використовуються протоколи шифрування третього та другого рівнів. Реалізація протоколу шифруванням третього рівня (IPSec) здійснюється на приймальному абонентському обладнанні, що створює додаткові затримки в роботі телекомунікаційного обладнання. Через те, що виконання протоколу розпочинається на початку сесії та з використанням великої кількості мережевих елементів, його загальна реалізація може бути досить складною. Використання другого рівня шифрування звільняє елементи третього рівня від функції шифрування. В основі методу шифрування другого рівня використовується технологія оптичного кодового мультиплексування CDMA. При цьому ймовірність перехоплення інформації є функцією декількох параметрів, включаючи відношення сигнал-шум, дроблення (Fraction) доступної системної ємності [5].

Таким чином, для ефективного захисту ВОЛЗ необхідно використовувати комбіновані (апаратно-програмні) методи захисту оптичних інформаційних потоків. Один з цих методів базується на моніторингу контрольних сигналів, що передаються по додаткових ОВ навколо робочого оптичного волокна. Для цього має бути зарезервовано додатковий ВОК, що підвищує вартість ВОЛЗ. Такий підхід дає змогу здійснювати моніторинг рівня потужності оптичного сигналу та відслідковувати спроби згинання контрольованого ВОК, при яких відбудеться фіксування додаткових втрат потужності оптичних сигналів в ОВ, що зумовить спрацювання сигналу тривоги.

Метод контролю захищеності багатоканальної волоконно-оптичної лінії зв'язку

В роботі розглянуто модифікований метод контролю захищеності багатоканальної волоконно-оптичної лінії зв'язку (ВОЛЗ), який дозволяє визначити час та місце несанкціонованого доступу (НД). В основі даного методу використовується технологія рефлектометричного вимірювання та методика статистичного аналізу кількісних показників якості функціонування ВОЛЗ з використанням критерію коефіцієнта помилок.

Запропонований метод контролю ВОЛЗ базується на одночасному використанні апаратного та програмного забезпечення, що дозволяє підвищити ефективність захисту інформаційних потоків за рахунок додаткового оброблення інформаційних сигналів, що передаються у ВОЛЗ та підвищити достовірність і точність визначення місця несанкціонованого доступу до оптичних каналів.

Згідно з запропонованим методом обладнання, яке розміщено на приймальній стороні, має у своєму складі систему контролю та виявлення НД. Завданням цієї системи є спостереження за станом лінії, контроль вхідного сигналу та прийняття рішення про наявність або відсутність НД. Для такої системи введемо такі показники якості: P_e – ймовірність виявлення НД; P_x – ймовірність хибного спрацювання; k – перехоплений об'єм інформації; $P_{\text{проп}}$ – ймовірність пропуску факту НД.

Якщо значення цих показників знаходяться у межах допустимих значень, то дана система контролю є ефективною. Для того, щоб проаналізувати роботу такої системи, позначимо через S_0 стан ВОЛЗ, в якому відсутній НД, а через S_1 – стан ВОЛЗ за наявності НД. Завдання системи контролю полягає у виявленні моменту зміни стану ВОЛЗ.

Сигнал, що надходить на вхід оптичного приймача ВОСП є послідовністю біт, які виражені у вигляді імпульсів світла з параметрами: тривалістю, рівнем оптичної потужності, функцією розподілу потужності. Підключення до лінії зв'язку (ЛЗ) засобів здійснення НД зумовлює зміну цих параметрів, зокрема зменшиться значення потужності оптичних сигналів а також її закон розподілу [6].

Враховуючи, що фотодетектор в оптичному приймачі ВОСП працює із достатньо потужним оптичним сигналом, тому відношення сигнал/шум для нього буде великим. Проведемо аналіз його роботи для визначення залежності між зміною прийнятої оптичної потужності та ймовірністю виявлення НД або хибного спрацювання.

Введемо величину y_i – параметр рівня сигналу в i -й момент часу, який буде розподілятися за нормальним законом:

$$P(y_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} e^{-\frac{(y-\lambda_i)^2}{2\sigma_i^2}}, \quad (1)$$

де λ_i – математичне сподівання випадкової величини y_i ;

σ_i – дисперсія випадкової величини y_i .

Сума величин y_i , яка розраховується в системі контролю для всіх y_i , що відповідають додатнім імпульсам, позначається через Z і порівнюється з порогом γ :

$$Z = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^N y_j, \quad (2)$$

де N – інтервал аналізу.

За результатами такого порівняння приймається рішення про виникнення НД. Якщо НД відсутній, то цей процес повторюється для наступного інтервалу N . Послідовність біт, що приймаються розбивається на рівні інтервали аналізу з тривалістю N біт. Припустимо, що в певний момент часу починається перехоплення інформації. Цей момент припадає на деякий біт інтервалу N_n . Починаючи з цього біту всі решта біт мають уже змінені параметри через вплив процесу НД. Контроль цих параметрів призводить до того, що на певному інтервалі N_i , який знаходиться від інтервалу N_n на відстані в T інтервалів, система виявить НД. Знаючи це, можна знайти втрати у інформаційних бітах. Якщо m – кількість втрачених біт на першому після появи НД інтервалі (в нашому випадку це N_n), то загальну кількість втрат в бітах можна визначити:

$$L_i = m_i + N \cdot T + t, \quad (3)$$

де t – час, необхідний для поширення інформації про сигнал НД.

На практиці зазвичай $t \ll N \cdot T$, тому можна використовувати співвідношення:

$$L_i = m_i + N \cdot T. \quad (4)$$

Однак, якщо при заданій ймовірності хибного спрацювання тривоги ймовірність пропуску на одному інтервалі досить мала, то на практиці можна обмежитись одним інтервалом аналізу. Якщо ж ця ймовірність велика, то достатньо збільшити значення N , тобто довжину інтервалу, при тому не виходячи за його межі. При мінімізації значення N , яке буде забезпечувати задані P_x , P_e . В цьому випадку, навіть якщо НД розпочнеться посередині попереднього інтервалу і не буде виявленим, то НД буде виявлено на наступному інтервалі при чому втрати інформації не будуть перевищувати величину:

$$L_i = m_i + N. \quad (5)$$

В цьому випадку для розрахунку значень P_x і P_e можна використовувати вирази, які були отримані в роботі [7], оскільки величина Z так само має гаусовий закон розподілу з дисперсією σ_1^2/N і математичним сподіванням λ_1 . При появі НД оптична потужність зменшиться та математичне сподівання величини Z стане рівним λ_1^H , а її дисперсія – $\sigma_1^H H^2/N$.

Система виявлення НД хибно спрацює тоді, коли при відсутності НД рівень оптичної потужності стане меншим за порогове значення γ . Аналогічно, факт НД може бути пропущений через перевищення рівня потужності за прийняте порогове значення. Звідси можна записати вирази для ймовірностей хибного спрацювання тривоги та виявлення НД:

$$P_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \frac{\sigma_1}{\sqrt{H}}} \int_{-\infty}^{\gamma} e^{-\frac{(z-\lambda_1)^2}{2\sigma_1^2/N}} dz; \quad (6)$$

$$P_{\text{проп}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \frac{\sigma_1^H}{\sqrt{H}}} \int_{-\infty}^{\gamma} e^{-\frac{(z-\lambda_1^H)^2}{2(\sigma_1^H)^2/N}} dz,$$

де λ_1^H – математичне очікування випадкових величин y_i при наявності НД;

σ_1^H – дисперсія випадкових величин y_i за наявності НД.

Врахуємо, що:

$$P_x \approx 1 - P_g. \quad (7)$$

Вираз (7) записаний із міркувань того, що всі спрацювання системи контролю, які не є результатом НД – хибні. Але:

$$1 - P_g = P_{\text{прон}}. \quad (8)$$

Тому, порівнюючи P_x і $P_{\text{прон}}$, можна розрахувати їх як функції від N , λ_1 та λ_1^H . При цьому ймовірності будуть поступово зменшуватись при збільшенні N та при збільшенні різниці $\lambda_1 - \lambda_1^H$, яка відповідає зміні рівня оптичної потужності внаслідок НД.

Перепишемо рівняння (6) спростивши їх:

$$P_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{(\gamma - \lambda_1)\sqrt{N}}{\sigma_1}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy, \quad (9)$$

$$\text{де } y = \frac{(Z - \lambda_1)\sqrt{N}}{\sigma_1};$$

$$dz = dy \sigma_1 \sqrt{N}.$$

Аналогічно для ймовірності пропуску:

$$P_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{(\gamma - \lambda_1^H)\sqrt{N}}{\sigma_1^H}}^{+\infty} e^{-\frac{y^2}{2}} dy, \quad (10)$$

$$\text{де } y = \frac{(Z - \lambda_1^H)\sqrt{N}}{\sigma_1^H};$$

$$dz = dy \sigma_1^H \sqrt{N}.$$

Якщо $P_x = P_{\text{прон}}$, то прирівнявши отримані вирази, можна прирівняти і граничні значення:

$$\frac{\lambda_1 - \gamma}{\sigma_1 / \sqrt{N}} = \frac{\gamma - \lambda_1^H}{\sigma_1^H / \sqrt{N}}. \quad (11)$$

Із виразу (11) знайдемо значення порогу:

$$\gamma = \frac{\lambda_1 \sigma_1^H - \lambda_1^H \sigma_1}{\sigma_1 + \sigma_1^H}. \quad (12)$$

Якщо вираз (12) підставити у вираз для ймовірностей P_x та $P_{\text{прон}}$, попередньо спростивши його, отримаємо:

$$P_x = P_{\text{прон}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{(\lambda_1 - \lambda_1^H)\sqrt{N}}{\sigma_1 + \sigma_1^H}}^{+\infty} e^{-\frac{y^2}{2}} dy. \quad (13)$$

Введемо наступне позначення:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{+\infty} e^{-\frac{y^2}{2}} dy. \quad (14)$$

Тоді ймовірність хибного спрацювання можна записати:

$$P_x = \Phi\left(\frac{\lambda_1 - \lambda_1^H}{\sigma_1 + \sigma_1^H} \sqrt{N}\right). \quad (15)$$

Величини λ_1 , λ_1^H в цьому виразі є математичним сподіванням розподілення оптичної потужності вхідного сигналу. Оскільки дисперсія характеризується шумом, то її зміна залежно від наявності або відсутності НД незначна, тоді вираз (15) можна записати:

$$P_x = \Phi\left(\frac{\lambda_1 - \lambda_1^H}{2\sigma_1} \sqrt{N}\right). \quad (16)$$

Отриманий вираз пов'язує між собою ймовірність хибного спрацювання (яка рівна ймовірності пропуску НД), величину відведеної при НД оптичної потужності, а також величину інформаційних втрат при виявленні НД.

Засоби контролю НД у ВОЛЗ

Для підвищення ефективності захисту ВОЛЗ від НД пропонується здійснювати порівняльний контроль рівнів потужності оптичних сигналів на виході оптичних мультиплексорів/демультиплексорів у ВОЛТ та коефіцієнту помилок на виході оптичних приймачів ВОСП. Для контролю обирається канал з найменшим рівнем потужності оптичних сигналів (найбільший коефіцієнт згасання) [7].

Узагальнена структура пристрою контролю захищеності ВОЛЗ представлена на рис. 1. За допомогою несиметричного оптичного розгалужувача (ОР) виконується підключення до оптичного каналу ВОЛТ пристрою контролю захищеності (ПКЗ). При виникненні несанкціонованого підключення до контрольованої ВОЛЗ зменшується рівень потужності оптичних сигналів у лінійному тракті. При цьому, відбувається зменшення рівня потужності, яку фіксує оптичний приймач з підвищеною чутливістю та передає результат у вигляді електричного сигналу на двоканальний BER-тестер, який одночасно визначає значення коефіцієнта помилок для двох оптичних каналів: робочого (опорного) та контрольованого. Після цього значення коефіцієнта помилок надходять на блок порівняння та визначення різниці, до складу якого входять пристрій порівняння з еталонними значеннями та пристрій формування сигналу про прийняття рішення про присутність або відсутність НД. Даний пристрій контролю доцільно використовувати у невеликих мережах, оскільки блок порівняння результатів потребує ручного налаштування (калібрування) [8]. Для мереж, які поступово розширюються, чи мають перспективу на розширення, застосування такого методу є не доцільним, адже після кожного розширення мережі необхідно здійснювати повторне калібрування блоку порівняння результатів.

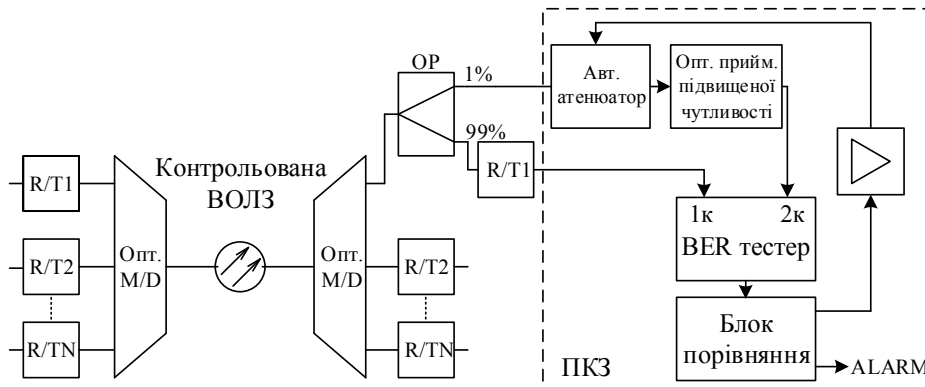


Рис. 1. Узагальнена структура пристрою контролю захищеності ВОЛЗ

Для інфокомунікаційних мереж, що розширюються з динамічним налаштуванням конфігурації обладнання, запропоновано модифікований варіант схеми пристрою (рис. 2).

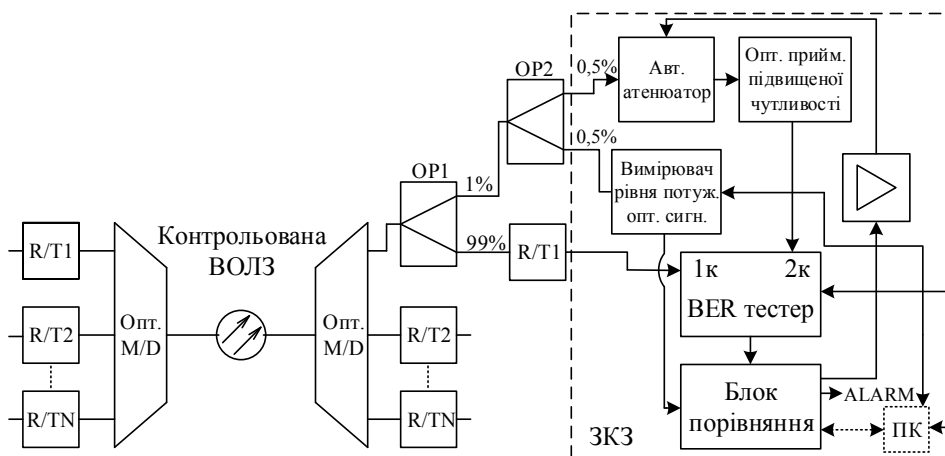


Рис. 2. Узагальнена структура адаптивного пристрою контролю захищеності ВОЛЗ

Для адаптивного налаштування блоку порівняння результатів необхідно додати в структуру ПКЗ ще один ОР та вимірювач рівня потужності оптичних сигналів. Використання ПК у складі ПКЗ дає можливість побудувати адаптивний засіб контролю захищеності (ЗКЗ) ВОЛЗ на базі запропонованого апаратно-програмного методу. Даний ЗКЗ забезпечить ведення статистики функціонування, на базі якої можна буде виконувати прогнозування функціональних характеристик ВОЛЗ в умовно-реальному часі.

Висновки

Огляд основних типів апаратного та програмного захисту ВОЛЗ показав ряд об'єктивних недоліків існуючих методів та створив передумови до використання комбінованих засобів захисту інформації у ВОСП. Запропонований метод дає можливість ефективно визначати наявність НД. Перевагою даного методу є те, що його можливо реалізувати як і в простих мережах, так і у мережах, що розширюються. Додаткове використання комп'ютера дає змогу аналізувати та прогнозувати можливі зміни потужності оптичних сигналів та встановлювати місце НД за допомогою рефлектометрів, які можуть працювати при керуванні з ПК згідно з запропонованим алгоритмом.

Література

1. Бортник Г.Г. Методи та засоби оцінювання параметрів абонентських ліній зв'язку / Г.Г. Бортник, В.М. Кичак, В.Ф. Яблонський. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 139 с.
2. Бортник Г.Г. Системи передавання в електрозв'язку : навчальний посібник / Г.Г. Бортник, О.А. Семенюк, О.В. Стальченко. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 138 с.
3. Warwick Ford, Computer communications security: principles, standard protocols and techniques. Englewood Cliffs, N.J.: PTR Prentice Hall, 1994, 494 p.
4. Douglas R. Stinson Cryptography: Theory and Practice. CRC Press, Inc. Boca Raton, FL, USA, 1995, 434 p.
5. Niels Ferguson, Bruce Schneier, Practical Cryptography. Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana, 2003, 432 p.
6. Бортник Г.Г. Метод оцінювання детермінованих складових фазового дрижання у цифрових системах передавання / Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, О.Г. Бортник // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – № 3. – С. 45–48.
7. Бортник Г.Г. Аналіз методів оцінювання джитеру в телекомунікаційних системах / Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, М.Л. Мінов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2007. – № 1. – С. 169–175.
8. Бортник Г.Г. Методи та засоби підвищення ефективності оцінювання фазового дрижання сигналів у телекомунікаційних системах : монографія / Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, В.М. Кичак. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 140 с.

References

1. Bortnyk H.H. Metody ta zasoby otsiniuvannya parametriv abonentskykh liniy zviazku / H.H. Bortnyk, V.M. Kychak, V.F. Yablonskyi. – Vinnytsia : UNIVERSUM-Vinnytsia, 2006. – 139 s.
2. Bortnyk H.H. Systemy peredavannya v elektrozv'язku : navchalnyi posibnyk / H.H. Bortnyk, O.A. Semeniuk, O.V. Stalchenko. – Vinnytsia : VNTU, 2006. – 138 s.
3. Warwick Ford, Computer communications security: principles, standard protocols and techniques. Englewood Cliffs, N.J.: PTR Prentice Hall, 1994, 494 p.
4. Douglas R. Stinson Cryptography: Theory and Practice. CRC Press, Inc. Boca Raton, FL, USA, 1995, 434 p.
5. Niels Ferguson, Bruce Schneier, Practical Cryptography. Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana, 2003, 432 p.
6. Bortnyk H.H. Metod otsiniuvannya determinovanykh skladovykh fazovoho dryzhannia u tsyfrovyykh systemakh peredavannya / H.H. Bortnyk, M.V. Vasylykivskiy, O.H. Bortnyk // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2012. – № 3. – S. 45–48.
7. Bortnyk H.H. Analiz metodiv otsiniuvannya dzhyteru v telekomunikatsiinykh systemakh / H.H. Bortnyk, M.V. Vasylykivskiy, M.L. Minov // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2007. – № 1. – S. 169–175.
8. Bortnyk H.H. Metody ta zasoby pidvyshchennia efektyvnosti otsiniuvannya fazovoho dryzhannia syhnaliv u telekomunikatsiinykh systemakh : monohrafiia / H.H. Bortnyk, M.V. Vasylykivskiy, V.M. Kychak. – Vinnytsia : VNTU, 2015. – 140 s.

Рецензія/Peer review : 18.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 22.05.2018 р.

Рецензент: к.т.н., проф. Бортник Г.Г.

ЗОРЯНИЙ ДАТЧИК ДЛЯ УНІВЕРСИТЕТСЬКОГО НАНОСУПУТНИКА

Обґрунтовується узагальнена концепція та вибір основних блоків недорогого зоряного датчика космічного базування, що може бути встановленою на університетський наносупутник формфактора 1U-3U.

Датчик має розміри $73 \times 57 \times 23$ мм³ (або приблизно $30 \times 30 \times 50$ мм³ в іншому варіанті виконання), має вагу менше 65 г, а середня споживана потужність 250 мВт (пікова - 1 Вт) дозволяє використовувати його на супутниках типу CubeSat. Зоряний датчик нанорозмірів (ЗДН) має високу точність, що досягається шляхом більш складної обробки зображень, яка дозволяє враховувати систематичні похибки. Очікується, що використання матриці КМОН з розміром 128×128 пікселів та швидкістю оновлення 10 Гц, дасть похибку $\sigma_{XY} \approx 10''$. Використовується методика підвищення точності [1] розроблена в Ryerson University, Торонто, Канада

Ключові слова: зоряний датчик, наносупутник

V.I. MYKYTENKO, P.S. KOTLYAR, Y.A. LEGA

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

STAR TRACKER FOR UNIVERSITY NANOSATELLITE

The generalized concept and the choice of the main blocks of the inexpensive stellar space-based sensor, which can be installed on the university nanosatellite of the form factor 1U-3U, is substantiated.

This stellar sensor is designed first of all for micro and nano satellites, but can also be used on larger spacecrafts. Its dimensions, which are $73 \times 57 \times 23$ mm (or about $30 \times 30 \times 50$ mm in another embodiment), its weight, which is less than 65 g, and its average power consumption of 250 mW (1W peak) enable to use it in a CubeSat satellites. The star tracker offers a set of standard interfaces (RS485, RS232, etc.) and accepts input voltages of 3.3 V to 5 V. The features of star tracker are: 1) focus mainly on domestic market of small satellites, thus it is assumed to use mostly the domestic electronic components while manufacturing, 2) star tracker has a high attitude accuracy, which is achieved through a more complicated image processing, allowing of taking into account the systematic errors. It is expected that the use of CMOS photo sensor with size of 128×128 pixels and with an update rate of 10 Hz gives the attitude error $\sigma_{XY} \approx 10''$. For a sensor of 768×768 pixels size error drops to $\sigma_{XY} \approx 1''$. We assume to manufacture few models of star trackers differed in the used photosensor, the hull design, the traffic interface, the degree of functionality and availability of options. In the basic design, front illuminated CMOS matrix of 128×128 pixels size with $20 \mu\text{m}$ pixel size is used. The sensor is in fact a television camera that contains a microprocessor for storing a star field card and for signal processing. At the previous stage, the general characteristics of the photodetector and objects that allow working with stars to +5 of the same magnitude were calculated. If we want the stellar sensor to be fully functional, then it must include an additional power source or use a stabilized satellite power supply unit. At present, the object of research is the general arrangement of the sensor, its mass-dimensional characteristics and the choice of elemental base. Attitude accuracy improvement technique was developed in the Ryerson University, Toronto, Canada.

Keywords: Star tracker, CubeSat, nano satellites.

Вступ

Останніми роками кількість запусків малих супутників швидко зростає і у 2018-2022 роках перевищуватиме кількість запусків супутників великого та середнього розміру. Розроблюються технічні рішення що до заміни невеликої кількості великих супутників дистанційного зондування Землі чисельним угрупованням малих недорогих нано- і навіть – фемто супутників [2]. Поки що типовим зразком сучасного малого супутника є нано-супутник типу CubeSat [3]. Це супутники, складені з модулів (юнітів), що позначаються як «1U») розміром $100 \times 100 \times 100$ мм³ кожний та вагою в декілька кілограмів. В КПІ ім.Ігоря Сікорського успішно виконуються кілька наукових проєктів по створенню недорогих нано супутників дистанційного зондування Землі. Очевидно, що майже все обладнання, призначене для великих супутників, не може використовуватися для таких супутників через значний розмір, вагу та енергоспоживання. Для наносупутників потрібно розробляти спеціальні малогабаритні пристрої.

Те саме стосується і зоряних датчиків. Як приклад, розглянемо відомі датчики ST-100 та ST-200 Berlin Space Technologies GmbH [4]. Компактний Star Tracker ST-200 має в 10 разів меншу масу і 4 рази менші розміри, таку ж точність (30"), як ST-100.

Постановка задачі

В даний час найбільш відомі зоряні датчики для малих супутників двох виробників: S3S Sinclair Interplanetary (Канада) і ST-200 Berlin Space Technologies GmbH (Німеччина) [4]. Цього, по-перше, недостатньо для задоволення потреб ринку, що стрімко розвивається; по-друге, серійні спеціалізовані для космічного використання прилади є занадто дорогими для встановлення на недорогі космічні платформи, які розробляються в університетах. Тому існує необхідність створення альтернативного зоряного датчика.

Опис об'єкту дослідження

Для виконання орієнтації наносупутника по трьом осям використовується зоряний датчик, в якому виконується аналіз зображення зоряного поля в середньому кутовому полі зору. Датчик фактично є телевізійною камерою, яка містить мікропроцесор для зберігання карти зоряного поля та для обробки сигналу. На попередньому етапі були розраховані узагальнені характеристики фотоприймача та об'єктива, які дозволяють працювати з зірками до +5 зоряної величини. Наразі об'єктом дослідження є загальна компоновка датчика, його масогабаритні характеристики та вибір елементної бази.

Характеристики ЗДН

Припускається розробка декількох моделей ЗДН, що відрізняються типом фотодатчика, конструкцією корпусу, інтерфейсом, ступенем функціональності та наявністю налаштувань.

У першій комплектації використовується КМОН матриця розміром 128×128 пікселів із розміром пікселя 20×20 мкм. ЗДН з цим датчиком має параметри, наведені в таблиці.

Таблиця

Параметри ЗДН у першій комплектації

Параметр		Величина
КМОН матриця		128×128 пікселів
Розмір пікселя		20×20 мкм
АЦП		10 біт
Час оновлення		10 Гц
Максимальна кутовашвидкість		2°/с
Фокусна відстань об'єктива		10,55 мм
Діаметр вхідної зіниці		9 мм
Полезору (2 ω)		19,5°
Спектральний діапазон		400 – 800 нм
Габаритні розміри	з блендою	73,5×57,0×57,8 мм
	безбленди	73,5×57,0×23,5 мм
Розмір бленди		30,0(діаметр)×34,3
Мінімальний кут для сонячного світла		30°
Достатній кут для місячного світла		10°
Вага (без бленди та термозахисту)		65 г
Температурна слота (без охолоджувача)		-10°C ... +10°C
Потужність (без охолоджувача)	середня	250 мВт
	пікова	1 Вт
Макс. зоряна величина		5,5 ^m
Величина зоряного каталогу		2500 зірок
Точність	σ_{XY}	10"
	σ_Z	50"

Якщо ми хочемо, щоб зоряний датчик був повністю функціональним, то він повинен включати додаткове джерело живлення або використовувати стабілізований бортовий блок живлення супутника. В останньому випадку, зоряний датчик буде мати менший розмір і вагу. Типовий розмір ЗДН із зовнішнім джерелом живлення становить $30 \times 30 \times 50$ мм³, а його вага близько 50 г.

Такі елементи проектування як: джерело живлення, тип зовнішнього інтерфейсу та формат даних (кути Ейлера, кватерніони тощо), підбираються відповідно до вимог супутника.

Найбільш доцільний варіант конструкції - наявність охолоджувача для фотосенсора, що дозволяє зменшити темновий струм КМОН матриці. В той же час недоліком наявності охолоджувача є значне збільшення енергоспоживання. Інший варіант - затвор, який дозволяє тимчасово закрити лінзу для проведення калібрування (див. нижче).

Інша модель зоряного датчика, ЗДН-2, базується на КМОН матриці розміром 768×768 пікселів, з розміром пікселя 10×10 мкм. Цей датчик має значно ширше поле зору, та охоплює більше зірок з більш високою граничною величиною. Як наслідок, очікувані похибки ЗДН-2 - $\sigma_{XY} \approx 1''$ та $\sigma_Z \approx 3''$.

Збільшення часу експозиції з одночасним зменшенням швидкості оновлення призводить до підвищення точності вимірів. Проте, стає важливим наявність охолоджувача для зменшення темнового струму.

Залежно від необхідного часу життя і поглиненої дози опромінення на супутниковій орбіті, ЗДН може використовуватися зі звичайними або радіаційно-стійкими електронними компонентами. Те саме стосується матеріалів, що застосовуються для об'єктива.

Розробка ЗДН

ЗДН планується використовувати з фоточутливим елементом КМОН розміром 128×128 пікселів з розміром пікселя 20×20 мкм та світлочутливою зоною $2,6 \times 2,6$ мм (рис. 1). Модель матриці Star-1000 [5].

ЗДН використовується з об'єктивом з п'яти оптичних компонентів з фокусною відстанню $F = 10,55$ мм і діаметром вхідної зіниці $D = 9$ мм.

Об'єктив може бути виготовлений із звичайного або радіаційно стійкого скла залежно від запиту замовника.

ЗДН необхідно оснастити блендою для об'єктива, яка забезпечує його нормальну роботу, при умові що кут між оптичною осью лінзи та напрямком до Сонця становить що найменше 30°. Можливий вигляд бленди об'єктива зображений на рис. 2.

Корпус ЗДН складається з основи та бленди (рис. 3). Основа має три виступи з отворами для кріплення, які мають широкі контактні поверхні. Два виступи розташовані симетрично навпроти один одного. Лінія, що проходить через них, перетинає оптичну вісь об'єктива ЗДН.

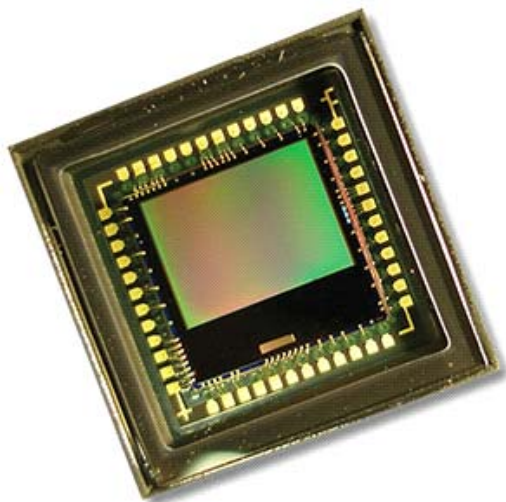


Рис. 1- КМОН матриця 128 × 128 пікселів

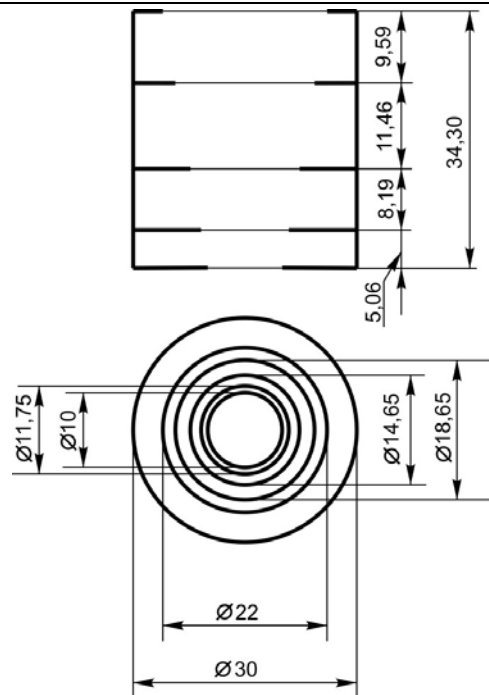


Рис. 2 - Бленда. Розміри наведені в міліметрах

Прикріплення плати до основи здійснюється за допомогою чотирьох гвинтів. Об'єktiv 3ДН та гніздо для кабелю управління, передачі даних та зовнішнього джерела живлення встановлені за межами кришки. Рівень затвора підшипників та соленоїд регулювання встановлюються всередині кришки (рис. 4).

Електронна плата керування, яку показано на рис 4, знаходиться всередині корпусу. У верхній частині плати знаходиться спеціалізований КМОН -чіп з фотосенсором та динамічним чіпом пам'яті [6]; флеш-пам'ять мікросхем і мікропроцесор знаходяться знизу. Під фотодатчиком є отвір для можливої установки кулера на зворотній стороні фотодатчика.

Підвищення точності

Мінімальна похибка відліку зоряного датчика визначається фактичним співвідношенням сигнал/шум у зображенні зоряного поля. Для зірок великої зоряної величин вимірюваний сигнал залежить насамперед від кількості квантів зіркового світла, розсіяного фонового освітлення, шумів датчика (темнового струму, шуму відліку, похибки АЦП, перетворення сигналу то що). Для зірок з великим блиском точність визначення їх розташування в полі зору значно погіршується в результаті «розтікання» сигналу по матриці фотоприймача при великій експозиції.

Будь-яка подальша обробка шумового сигналу зображення не може зменшити похибку. Цю похибку можна зменшити лише шляхом збільшення сигналу виявлення зірки.

У той же час в зоряних датчиках присутній інший ряд систематичних похибок. На відміну від випадкових, ці похибки залежать від набору параметрів і в принципі можуть бути зменшені шляхом відповідної обробки зображень.

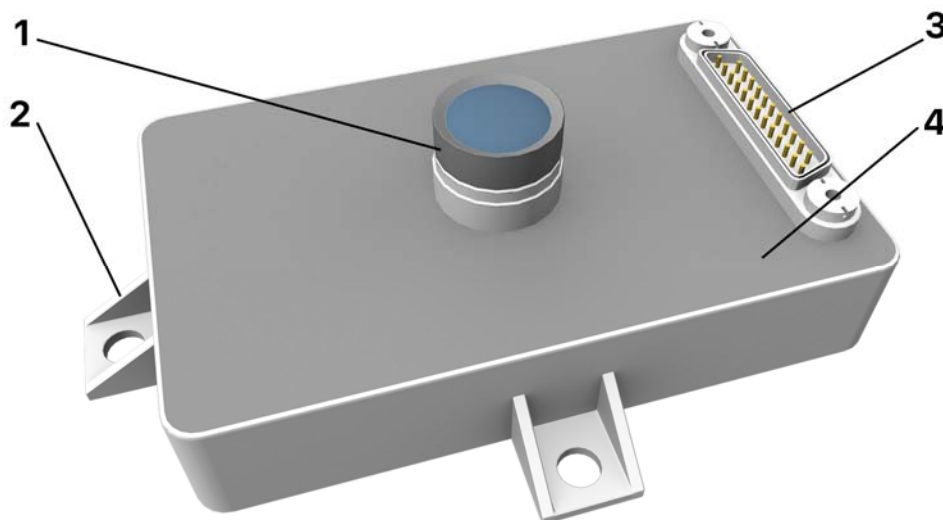


Рис. 3 - Загальний вигляд 3ДН без бленди та термозахисту: 1 - об'єktiv, 2 - виступи з отворами для кріплення, 3 - гніздо для кабелю управління, передачі даних та зовнішнього джерела живлення, 4 - корпус приладу

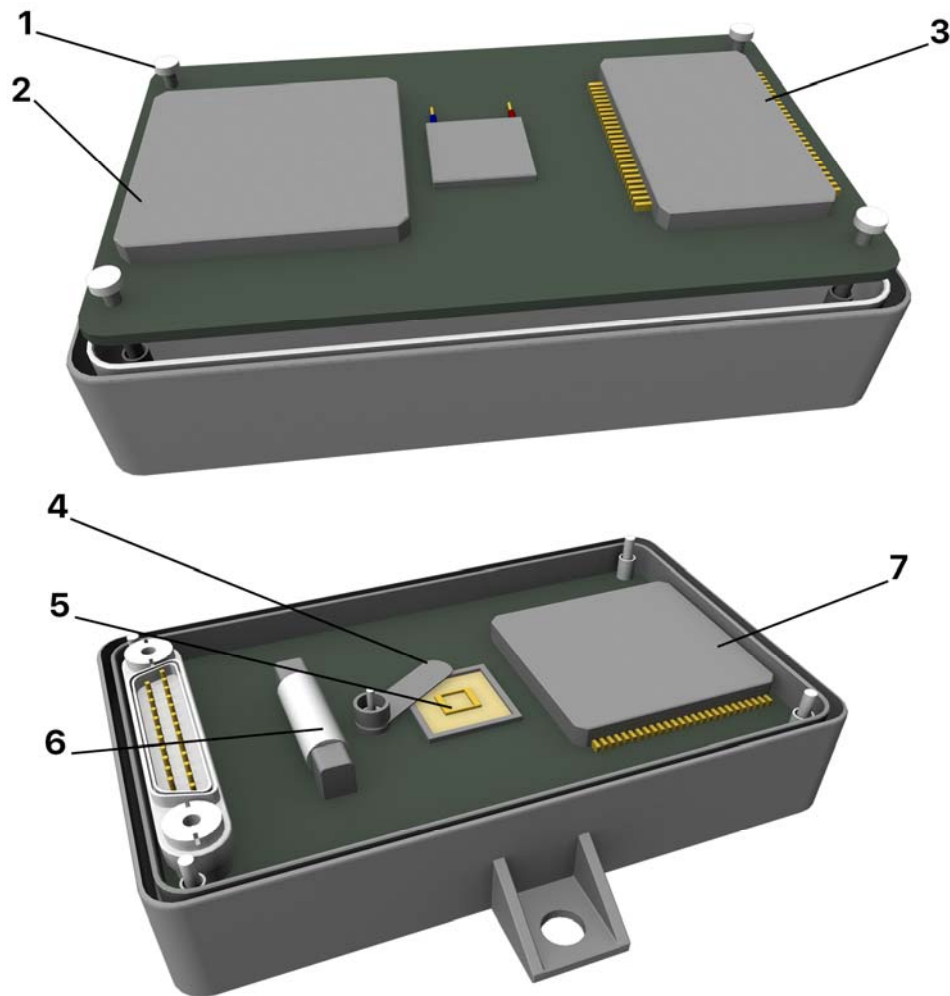


Рис. 4 - Плата ЗДН: 1 - гвинтикріпленняплати, 2 - флеш-пам'ятьмікросхем, 3 - мікропроцесор, 4 - затвор, 5 - КМОН-чіп з фотосенсором, 6 - соленоїдрегулювання, 7 - динамічнийчіппам'яті

Невиключені систематичні похибки у поєднанні з випадковими призводять до значного збільшення загального ефективного шуму. Як показує практика, точність сучасних зоряних датчиків приблизно в 10-30 разів гірше, ніж та, яка визначається лише випадковими похибками. Насправді, навіть неоднорідність темнових струмів пікселів зменшує точність до 3-4 разів [7,8].

Типова розробка сучасних зоряних датчиків не дозволяє враховувати такі систематичні похибки. Основною проблемою є необхідність комплексної процедури обробки зображень, яка потребує більшої флеш-пам'яті та оперативної пам'яті. І це стосується як малих, так і великих зоряних датчиків.

Розробка ЗДН, навпаки, передбачає зменшення набору системних похибок. А саме, використовуються алгоритми, які зменшують:

- неоднорідність темнових струмів датчика (включаючи "гарячі" пікселі);
- неоднорідність піксельної відповіді датчика;
- відмінності в посиленні підсилювачів;
- аберації об'єктива: як хроматичні, так і ахроматичні.

Спеціалізований чіп для ЗДН

Для підвищення точності та зменшення часу обробки зображень, в данному проекті ми маємо намір використати спеціальний чіп. Алгоритми обробки, які в ньому використовуються, є більш складними, ніж ті, які використовуються в звичайних зоряних датчиках. За допомогою цього чіпа можна буде зменшити вартість, масу та розмір зоряного датчика. Також такий чіп може бути об'єднаний з матрицею КМОН з метою мініатюризації.

Калібрування ЗДН

Наземне калібрування

Для виправлення системних похибок, згаданих вище, інформація про піксельну чутливість датчика (так зване «плато поле»), карта темнового струму та значення аберрації об'єктива повинні зберігатися у флеш-пам'яті датчика. Ці дані можна отримати з певних калібрувань на наземній основі та є унікальними для кожного окремого ЗДН.

Калібрування на орбіті

Властивості фотодатчика, як правило, змінюються в умовах космічного простору, в основному під

впливом високоенергетичних космічних частинок. Змінюється чутливість пікселів, темнові струми збільшуються, з'являються нові «гарячі» пікселі. Таким чином, результати наземних калібрувань, що зберігаються в пам'яті трекера, стають все менш актуальними.

У результаті, загальна систематична похибка датчика збільшується, і, отже, точність його зменшується. Тим не менш, ця проблема може бути виправлена, якщо є можливість отримати нові дані калібрування під час польоту. Ідея калібрування на орбіті вже обговорювалася кількома авторами [9,10], але конкретні калібрування ЗДН значно відрізняються від описаних у цих роботах.

Щоб покращити збережену карту темнових струмів, потрібно отримати ряд темних кадрів (із закритим об'єктивом). Потім відносну чутливість пікселів можна відкалібрувати, використовуючи рівномірне освітлення датчика (наприклад, з допомогою фотометричної кулі при зняттю об'єктиві).

Калібрування датчика на борту наносупутника можливе з використанням механічного затвору (рис. 4), який перекриватиме фотоприймач під час цієї процедури. Але це значно ускладнює датчик й зменшує його надійність. Тому з огляду на відносно невеликий термін функціонування самого космічного апарату (що визначається малою висотою орбіти) в перших моделях приладу доцільно обмежитись тільки наземним калібруванням.

Висновок

Вага та розміри зоряного датчика дозволяють використовувати його з мікро- та наносупутниками іншого типу. Більше того, параметри ЗДН (і особливо ЗДН-2) роблять його можливим еквівалентом звичайних "великих" зоряних датчиків.

Потенційна можливість калібрування датчика на орбіті забезпечує тривале збереження високої точності.

Література

1. John Enright, Doug Sinclair, C. Cordell Grant, Geoff McVittie, Tom Dzamba «Towards Star Tracker Only Attitude Estimation», Ryerson University, Toronto, Canada.
2. Колобродов В.Г., Лихоліт М.І., Марченко В.О., Микитенко В.І. Вибір оптико-електронної системи малорозмірного університетського супутника // Вісник ЧДТУ. - 2008. – №2. – С. 167 - 172
3. Barnhart, D., Vladimirova T., Baker A., Sweeting, M. (2009). A low-cost femtosatellite to enable distributed space missions. *Acta Astronautica*, 64, 11–12, 1123–1143.
4. Tom Segest “Development of the Pico Star Tracker ST-200 - Design Challenges and Road Ahead”, Berlin Space Technologies GmbH, Berlin, Germany, 2012.
5. STAR-1000 1 M Pixel Radiation - Hard CMOS image sensor Datasheets, Cypress Semiconductor Corporation, San Jose, California.
6. Ferrera, M. et al. On-chip CMOS-compatible all-optical integrator. *Nat. Commun.* 1:29 doi: 10.1038/ncomms1028 (2010).
7. Захаров А.И., и др. «Звездные следопыты нового поколения», Институт теоретической астрономии, № 20, стр.427-432, 2009.
8. Тучин, М. «О случайных и систематических ошибках звездного трекера», Материалы 27-й ежегодной конференции AIAA / USU на малых спутниках «Малые спутники», SSC13-I10, 2013.
9. Samaan, M.A., et al., “Autonomous On-orbit Calibration of Star Trackers,” *Proceedings of Core Technologies for Space Systems Conference (Communication and Navigation Session)*, 2001.
10. Hai-bo, L., et al., “Autonomous On-orbit Calibration of a Star Tracker Camera,” *Optical Engineering*, V.50(2), 023604, 2011.

References

1. John Enright, Doug Sinclair, C. Cordell Grant, Geoff McVittie, Tom Dzamba «Towards Star Tracker Only Attitude Estimation», Ryerson University, Toronto, Canada.
2. Kolobrodov V.G., Liholit M.I., Marchenko V.O., Mikitenko V.I. Vibiroptiko-elektronnoi sistemi malorozmirmogo universitetskogo suputnika // Visnik ChDTU. - 2008. – №2. – S. 167 - 172
3. Barnhart, D., Vladimirova T., Baker A., Sweeting, M. (2009). A low-cost femtosatellite to enable distributed space missions. *Acta Astronautica*, 64, 11–12, 1123–1143.
4. Tom Segest “Development of the Pico Star Tracker ST-200 - Design Challenges and Road Ahead”, Berlin Space Technologies GmbH, Berlin, Germany, 2012.
5. STAR-1000 1 M Pixel Radiation - Hard CMOS image sensor Datasheets, Cypress Semiconductor Corporation, San Jose, California.
6. Ferrera, M. et al. On-chip CMOS-compatible all-optical integrator. *Nat. Commun.* 1:29 doi: 10.1038/ncomms1028 (2010).
7. Zaharov A.I., i dr. «Zvezdnye sledopyty novogo pokoleniya», Institut teoreticheskoy astronomii, № 20, str.427-432, 2009.
8. Tuchin, M. «O sluchajnyh i sistematicheskikh oshibkah zvezdnogo trekera», Materialy 27-j ezhegodnoj konferencii AIAA / USU na malyh sputnikah «Malye sputniki», SSC13-I10, 2013.
9. Samaan, M.A., et al., “Autonomous On-orbit Calibration of Star Trackers,” *Proceedings of Core Technologies for Space Systems Conference (Communication and Navigation Session)*, 2001.
10. Hai-bo, L., et al., “Autonomous On-orbit Calibration of a Star Tracker Camera,” *Optical Engineering*, V.50(2), 023604, 2011.

Рецензія/Peer review : 07.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 23.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЧИННИКІВ

Реалізовано геоінформаційну систему прогнозування впливу небезпечних чинників, яка забезпечує розрахунок геометричних параметрів зон хімічного забруднення під час аварійного прогнозування та їх подальшу візуалізацію на місцевості за допомогою сервісу Google Maps. Для реалізації геоінформаційної системи прогнозування впливу небезпечних чинників було використано мови програмування C# та Java Script та систему керування базами даних MS SQL.

Ключові слова: інформаційна технологія, прогнозування, вплив небезпечних чинників, геоінформаційна система, гіс-технологія.

YU.M. NELIUBIN, O.A. PASICHNYK

Khmelnytsky National University

GEOINFORMATION SYSTEM OF FORECASTING OF DANGEROUS FACTORS' INFLUENCE

Geographic information system is a modern computer-based information technology that combines electronic, schematic, space or aerophotography the earth's surface image information that contains a variety of statistics, lists, economic indicators, etc. Also, under geographic information system understand control system, spatial data and associate attributes with them. This comp Utah-RNA system provides the possibility of using, storing, editing, analyzing and displaying the necessary data with their geographical location. Orientation geo-informational systems is determined tasks related to inventory resources, analysis, assessment, monitoring, management and planning, decision support. Integrated geographic information system that combines the specific functionality of the GIS and digital image processing (remote sensing data) into a single integrated environment. The use of GIS is effective in different subject areas where important knowledge about the mutual location and the shape of objects in space - environment, agriculture, natural resource management, communications, urban planning and landscape quick-tpe design, and the like. One of the important factors responsible for the conditions and quality of life is use in the production process of various substances, including dangerous. Interesting and accessible is Google Maps that allows you to easily integrate resent custom application. Geo-informational instability and risk forecasting system the influence of threat factors consists of the following modules - module data input module communicating with the database, calculation module, the module of interaction with Google Maps. Implementation of software applications based on the MVC pattern. Model-view-controller. Model-view-controller, MVC) is an architectural pattern that is used during the development and design of software. The architectural pattern MVC involves splitting the system into three interrelated parts: - data model, view (user interface). the control module. Implemented geographic information system for predicting hazards which calculates NOK geometrical parameters of zones of chemical contamination in emergency forecasting and subsequent visa-Alsace on the ground with the help of Google Maps. To implement a geographic information system forecasting licensing hazards was used the programming languages C# and Java Script and the database management systems MS SQL.

Keywords: information technology, forecasting, influence of dangerous factors, geoinformation system, gistechology

Вступ

Геоінформаційна система – це сучасна комп'ютерна інформаційна технологія, яка поєднує електронне, схематичне, космічне або аерофотографічне зображення земної поверхні з інформацією, що містить різноманітні статистичні дані, списки, економічні показники тощо. Також під геоінформаційною системою розуміють систему управління просторовими даними та асоційованими з ними атрибутами. Така комп'ютерна система забезпечує можливість використання, збереження, редагування, аналізу та відображення необхідних даних з їх географічною прив'язкою [1, 2].

Орієнтація геоінформаційних систем визначається розв'язуваними задачами, що пов'язані з інвентаризацією ресурсів, аналізом, оцінкою, моніторингом, управлінням та плануванням, підтримкою прийняття рішень. Інтегровані геоінформаційні системи поєднують специфічні функціональні можливості ГІС та систем цифрової обробки зображень (даних дистанційного зондування) в єдиному інтегрованому середовищі.

Застосування ГІС є ефективним в різноманітних предметних областях, де важливі знання про взаємне розташування та форму об'єктів у просторі – екологія, сільське господарство, управління природними ресурсами, земельні та майнові кадастри, комунікації, містобудування та ландшафтне проектування тощо.

Одним із важливих чинників, що обумовлюють умови та якість життя є застосування в процесі виробничої діяльності різноманітних речовин, зокрема й небезпечних.

Так, у промисловості, сільському господарстві і для побутових цілей використовується близько 6 млн токсичних речовин, 60 тис. із яких виробляється у великих кількостях, в тому числі більше 500 речовин, які відносяться до групи сильно діючих отруйних речовин (СДОР) – найбільш токсичних для людей, що обумовлює об'єктивну потребу у визначенні можливого негативного впливу на людей, зокрема із його географічною прив'язкою як зон забруднення [3–5].

Програмним інструментарієм вирішення широкого кола різноманітних задач із географічною прив'язкою даних є геоінформаційні системи, зокрема:

- сімейство програмних пакетів ArcGIS компанії «ESRI» (США),
- сімейства програмних продуктів MGE і GeoMedia компанії «Intergraph Corp.» (США),

- пакет MicroStation сімейства програмних продуктів фірми «Bentley Systems» (США),
- програмні продукти компанії «Autodesk» (США),
- програмні пакети GeoniCS науково-виробничого центру «Геоніка» (Україна),
- гіс-пакет MapInfo Professional компанії «Mapping Information Systems Corporation» (США) тощо.

Наведені програмні системи є самодостатніми реалізаціями для розв'язання геоінформаційних задач та пропонують готовий інструментарій для отримання потрібного кінцевого результату.

Цікавим та доступним є сервіс Google Maps, що дозволяє легко інтегрувати різноманітні користувальницькі застосування.

Google Maps – набір додатків, побудованих на основі безкоштовного картографічного сервісу і технологій, які надає компанія Google. Сервіс являє собою карту та супутникові знімки всього світу (а також Місяця і Марса) і надає користувачам можливості панорамного перегляду вулиць (Google Street View), аналізу трафіку у реальному часі (Google Traffic), прокладання маршруту (автомобілем, пішки, велосипедом або громадським транспортом). З сервісом інтегрований бізнес-довідник і карта автомобільних доріг, з пошуком маршрутів, яка охоплює деякі райони. Перегляд супутникового зображення може здійснюватися в режимі як "зверху-вниз" так і в "режимі польоту". Більшість аерознімків високої роздільної здатності зроблені з дронів, які пролітають над землею на висоті 240–460 м, інші зроблені з супутників. Знімки є не більш ніж трьохрічної давності та оновлюються на регулярній основі. Google Maps використовує варіант карти, близький до проекції Меркатора, тому не може показувати території навколо полюсів. Google Maps була розроблена як десктопова програма на мові C++ Ларсом та Дженсом Ейлстрап Расмуссенами. У жовтні 2004 р. компанія Google перетворила її на веб-додаток.

Сервіс Google Maps може бути достатньо легко використаний як модуль географічної прив'язки інформації та її відображення на місцевості у реалізованому користувачем застосуванні, зокрема для відображення зон хімічного забруднення.

Програмна реалізація інформаційної системи

Аварійне прогнозування здійснюється під час виникнення аварії за даними розвідки для визначення можливих наслідків аварії і порядку дій в зоні можливого забруднення.

Для аварійного прогнозування використовуються такі дані [3–8]:

- загальна кількість НХР на момент аварії в ємності (трубопроводі), на якій виникла аварія;
- характер розливу НХР на підстильній поверхні ("вільно" або "у піддон");
- висота обвалування (піддону);
- реальні метеорологічні умови: температура повітря (°C), швидкість (м/с) і напрямок вітру у приземному шарі, ступінь вертикальної стійкості повітря;
- стан повітряних шарів на поверхні (інверсія, конвекція, ізотермія);
- середня щільність населення для місцевості, над якою розповсюджується хмара НХР;
- площа зони можливого хімічного забруднення (ЗМХЗ);
- площа прогнозованої зони хімічного забруднення (ПЗХЗ);
- прогнозування здійснюється на термін не більше ніж на 4 години, після чого прогноз має бути уточнений.

Визначення параметрів зон хімічного забруднення під час аварійного прогнозування відбувається у наступній послідовності. Площа S_p та радіус R_p розливу розраховуються за формулами:

$$S_p = \frac{Q}{hd}, \quad (1)$$

$$R_p \sqrt{\frac{S_p}{\pi}}, \quad (2)$$

де d – густина НХР, т/м³, Q – маса НХР, т; h – товщина шару розлитої НХР, м.

Розмір ЗМХЗ приймається як сектор круга, форма і розмір якого залежать від швидкості та напрямку вітру, і розраховується за емпіричною формулою, км²

Площа ЗМХЗ:

$$S_{ЗМХЗ} = 8,72 \cdot 10^{-3} \Gamma^2 \varphi, \quad (3)$$

де Γ – глибина зони; φ – коефіцієнт, який умовно дорівнює кутовому розміру зони.

Прогнозована зона хімічного забруднення, км²

Площа ПЗХЗ:

$$S_{ПМХЗ} = K \cdot \Gamma^2 N^{0,2} (\text{км}^2), \quad (4)$$

де K – коефіцієнт; N – час, на який розраховується глибина ПЗХЗ.

Ширина ПЗХЗ, км:

при інверсії

$$\text{Ш} = 0,3 \cdot \Gamma^{0,60}, \quad (5)$$

при ізотермії

$$\text{Ш} = 0,3 \cdot \Gamma^{0,75}, \quad (6)$$

при конвекції

$$\Pi = 0,3 \cdot \Gamma^{0,95}, \quad (7)$$

де Γ – глибина зони забруднення.

Межі осередку хімічного ураження визначаються шляхом нанесення розмірів зон забруднення на топографічні карти та схеми, як показано на рис. 1, кола при швидкості вітру за прогнозом менше 0,5 м/с. Центр кола збігається з джерелом забруднення, радіус дорівнює глибині забруднення Γ (рис. 1, а). Півкола при швидкості вітру за прогнозом від 0,5 до 1,0 м/с, радіус півкола дорівнює Γ , бісектриса півкола збігається з віссю сліду хмари й орієнтована за напрямком вітру (рис. 1, б). Сектора з $\varphi = 90^\circ$ при швидкості вітру 1,0...2,0 м/с; $\varphi = 45^\circ$ при швидкості вітру більше 2 м/с; радіус сектора дорівнює Γ , бісектриса сектора збігається з віссю сліду хмари й орієнтована за напрямком вітру (рис. 1, в) [3–5].

Час підходу хмари НХР до заданого об'єкта залежить від швидкості перенесення хмари повітряним потоком і визначається за формулою, год.:

$$t = \frac{r}{V} (\text{год}), \quad (8)$$

де r – відстань від джерела забруднення до заданого об'єкта, км; V – швидкість переносу переднього фронту забрудненого повітря залежно від швидкості вітру, км/год.

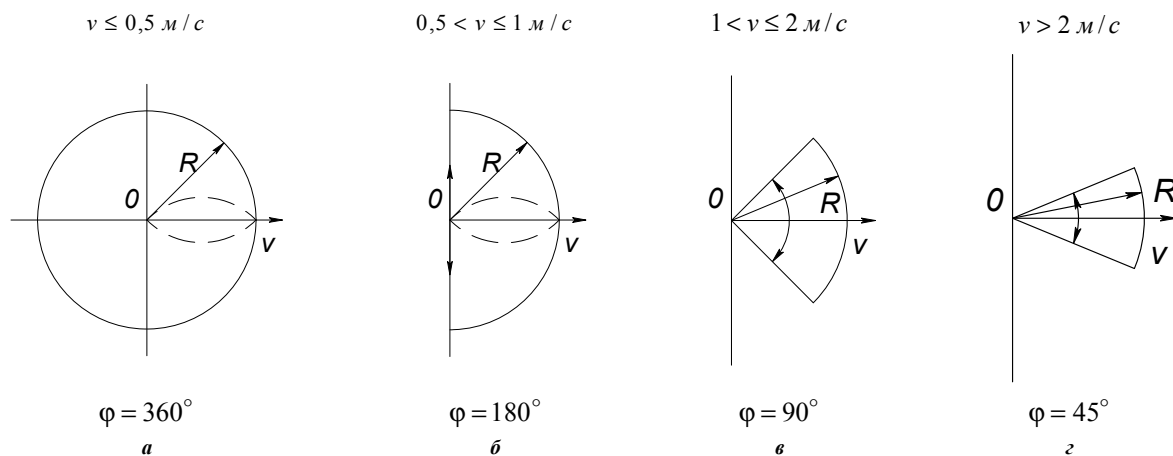


Рис. 1. Вигляд зон можливого забруднення НХР

Для прогнозування за цією методикою розлив "вільно" приймається, якщо вилита НХР розливається підстильною поверхнею при висоті шару (h) не вище 0,05 м. Розлив "у піддон" приймається, якщо вилита НХР розливається поверхнею, яка має обвалування, при цьому висота шару розливої НХР має бути $h = H - 0,2$ м, де H – висота обвалування.

При аварії з ємностями, які містять кількість НХР менше від нижчих меж, що вказані в таблиці, глибини розраховуються методом інтерполювання між нижчим значенням та нулем.

Усі розрахунки виконуються на термін не більше 4 годин. Після отримання даних з урахуванням усіх коефіцієнтів отримане значення порівнюється з максимальним значенням переносу повітряних мас за 4 години:

$$\Gamma = 4 \cdot V, \quad (9)$$

де V – швидкість переносу повітряних мас; Γ – глибина зони.

Для подальшої роботи береться найменше з двох значень, що порівнюються.

Для розрахунків у цьому разі береться значення глибини розповсюдження хмари забрудненого повітря хлору, яке відповідає умовам, за яких виникла аварія з НХР (швидкість вітру, ступінь вертикальної стійкості повітря, температура повітря, кількість НХР), і множиться на коефіцієнт, отриманий з табл. 20 для даного НХР.

Приклад нанесення зон хімічного забруднення на карту місцевості залежно від площі розливу S_p при швидкості вітру від 0,6 до 1 м/с, азимут вітру $A = 270^\circ$, $\varphi = 180^\circ$ наведено на рис. 2. Вся побудова зон на карті (схемі) виконується чорним кольором, а отримане графічне зображення зони фактичного зараження виділяють жовтим кольором.

Геоінформаційна система прогнозування впливу небезпечних чинників складається з таких модулів:

- модуль введення початкових даних,
- модуль взаємодій з базою даних,
- розрахунковий модуль,
- модуль взаємодії з Google Maps.

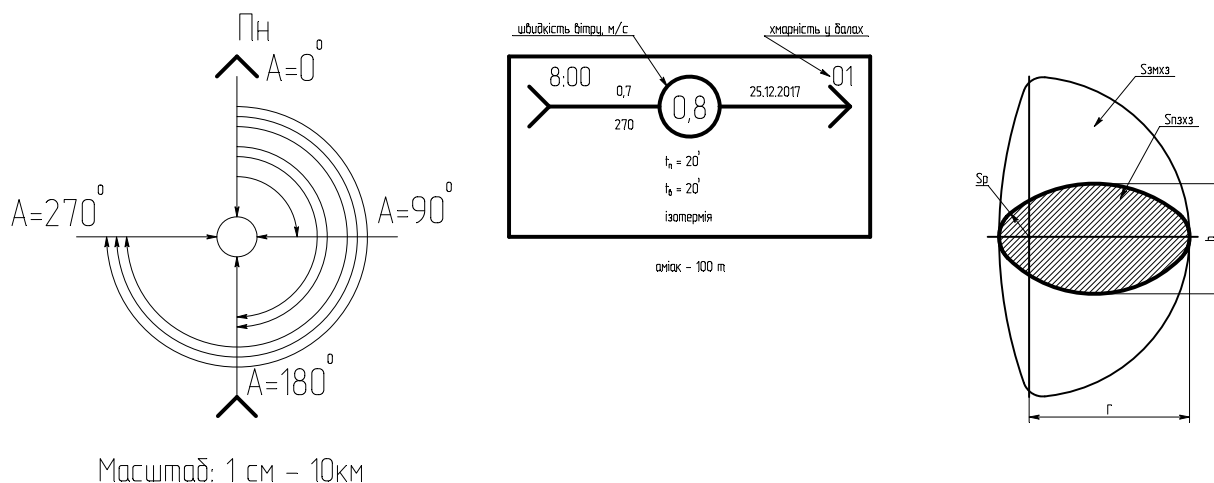


Рис. 2. Приклад нанесення зон хімічного зараження на карту місцевості
 а – можливі напрямки вітру (А – азимут, Пн – північ); б – параметри зон хімічного зараження, b – ширина зони ПЗХЗ

Модуль початкових даних призначений для отримання від користувача вхідних даних для розрахунку, а саме:

- виду небезпечної хімічної речовини,
- кількості небезпечної хімічної речовини,
- географічних координат точки витікання небезпечної хімічної речовини,
- швидкості та напрямку вітру,
- ступеню вертикальної стійкості повітря.

Модуль взаємодії з базою даних забезпечую отримання відомостей про густину небезпечної хімічної речовини та величину глибини зони забруднення.

В розрахунковому модулі на основі відповідних співвідношень в залежності від початкових умов да довідникових величин отриманих із бази даних визначаються геометричні характеристики зон хімічного забруднення.

Модуль взаємодії з Google Maps забезпечує передачу отриманих у розрахунковому модулі значень зон хімічного забруднення та нанесення їх на мапу у відповідних географічних координатах.

Схема інформаційної моделі системи наведено на рис. 3.

Графічно-розрахункову схему (змістовну схему розрахункового модуля) визначення параметрів зон хімічного забруднення наведено на рис. 4.

Під час аналізу характеристик, переваг та недоліків існуючих мов програмування та систем керування базами даних для реалізації геоінформаційної системи прогнозування впливу небезпечних чинників було визнано найбільш доцільним застосування мови програмування C# та Java Script та систему керування базами даних MS SQL [9, 10].

Реалізація програмного додатку базується на шаблоні MVC. Модель–вигляд–контролер (модель–представлення–контролер, англ. *Model-view-controller*, MVC) – це архітектурний шаблон, що використовується під час розробки та проектування програмного забезпечення. Архітектурний шаблон MVC передбачає поділ системи на три взаємопов'язані частини:

- модель даних,
- вигляд (інтерфейс користувача)
- модуль керування.

Такий підхід використовується для відокремлення даних (моделі) від інтерфейсу користувача (вигляду) задля того, щоб можливі зміни інтерфейсу користувача мінімально можливо впливали на роботу з даними, а внесення змін в модель даних могли виконуватися без змін інтерфейсу користувача.

Безпосередня взаємодія користувача з геоінформаційною системою відбувається в межах модуля введення початкових даних. Розрахунковий модуль та модуль взаємодії з базою даних забезпечують виконання призначених функцій в режимі, прихованому від користувача. Модуль взаємодії з Google Maps за кінцеву мету має візуалізацію інформації про вплив небезпечних чинників з різним ступенем деталізації місцевості (рис. 5, 6).

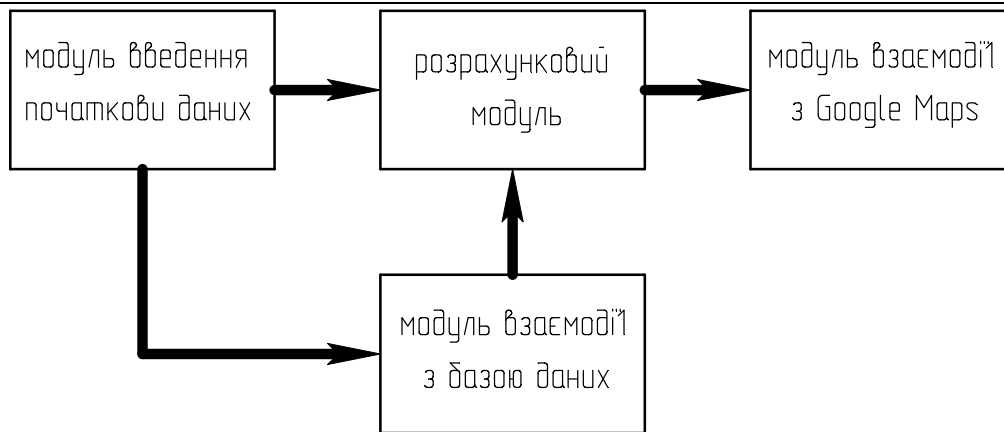
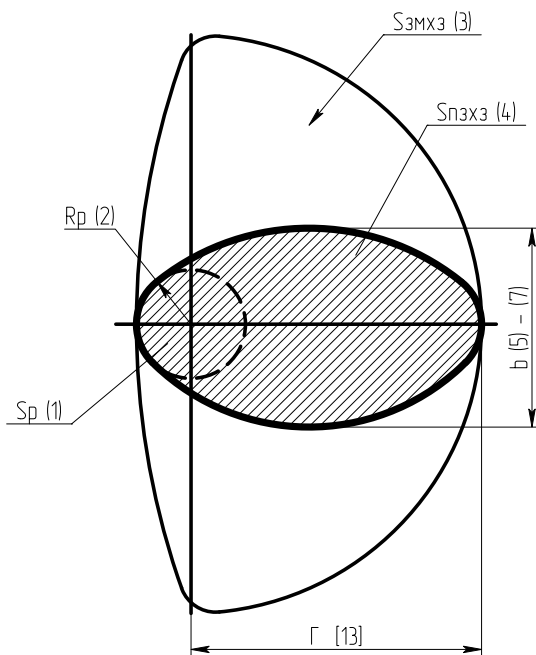


Рис. 3. Схема інформаційної моделі системи



<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:ModelViewControllerDiagram2.svg>

Рис. 4. Зміст розрахункового модуля

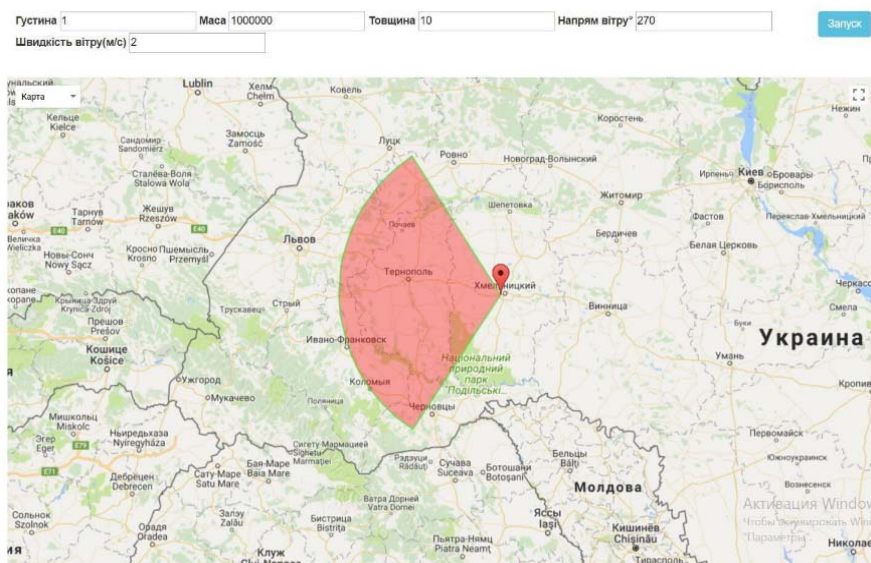


Рис. 6. Відображення зони хімічного забруднення на Google Maps на загальнонаціональному рівні

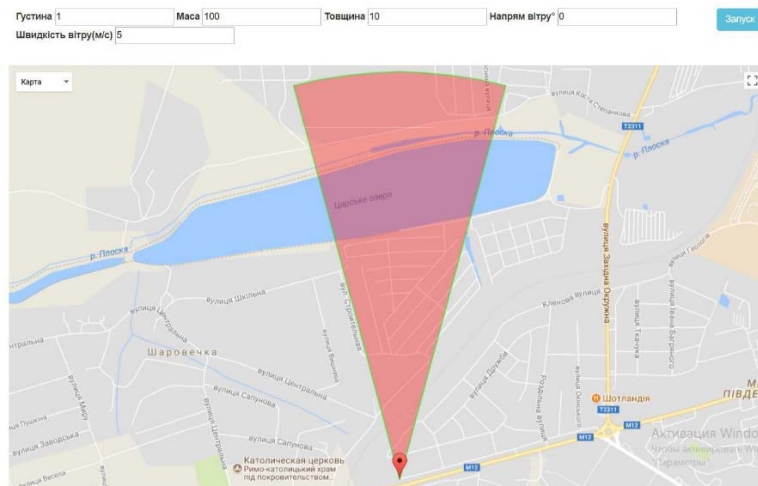


Рис. 7. Відображення зони хімічного забруднення на Google Maps на місцевому рівні

Висновки

За результатами аналізу предметної області, її інформаційного забезпечення та сучасних платформ програмування було реалізовано геоінформаційну систему прогнозування впливу небезпечних чинників, яка забезпечує розрахунок геометричних параметрів зон хімічного забруднення при аварійному прогнозуванні та їх подальшою візуалізацією на місцевості за допомогою сервісу Google Maps. Для реалізації геоінформаційної системи прогнозування впливу небезпечних чинників було використано мови програмування C# та Java Script та систему керування базами даних MS SQL.

Література

1. Лайкин В.И. Геоинформатика / В.И. Лайкин, Г.А. Упоров. – Комсомольск-на-Амуре : Изд-во АмГПУ, 2010. – 162 с.
2. Геоинформатика / [Капралов Е.Г., Кошкарёв А.В., Тикунов В.С. и др.] ; под ред. В.С. Тикунова. – М. : Издательский центр «Академия», 2005. – 480 с.
3. Стеблюк М.І. Цивільна оборона та цивільний захист / М.І. Стеблюк. – К. : Знання, 2013. – 487 с.
4. Депутат О.П. Цивільна оборона / Депутат О.П., Коваленко І.В., Мужик І.С. ; за ред. П.І. Кашина. – Львів : ПП «Василькевич К.І.», 2005. – 340 с.
5. Основи цивільного захисту / [Васійчук В.О., Гончарук В.Є, Качан С.І., Мохняк С.М.]. – Львів : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2010. – 417 с.
6. Букаты М.Б. Геоинформационные системы и математическое моделирование / Букаты М.Б. – Томск : Изд. ТПУ, 2009. – 75 с.
7. Геоінформаційні технології в екології / [Пітак І.В., Негадайлов А.А., Масікевич Ю.Г. та ін.]. – Чернівці : ЧНУ, 2012. – 273 с.
8. Растоскуев В.В. Геоинформационные технологии при решении задач экологической безопасности / В.В. Растоскуев, Е.В. Шалина. – СПб: ВВМ, 2006. – 256 с.
9. Орлов С.А. Технологии разработки программного обеспечения / Орлов С.А. – СПб : Питер, 2002. – 464 с.
10. Сорокати́й Р.В. Основи об'єктно-орієнтованого програмування мовою C# / Р.В. Сорокати́й, О.А. Пасічник. – Хмельницький : ХНУ, 2011. – 170 с.

References

1. Laykin V.I. Geoinformatika / V.I. Laykin, G.A. Uporov – Komsomolsk-na-Amure: Izd-vo AmGPGU, 2010. – 162 s.
2. Geoinformatika / [Kapralov E.G., Koshkarev A.V., Tikunov V.S. i dr.]; pod red. V.S. Tikunova. – M.: Izdatelskiy tsentr «Akademiya», 2005. — 480 s.
3. Steblyuk M.I. Tsivilna oborona ta tsivilnyi zahis / M.I. Steblyuk. — K. : Znannya, 2013. — 487 s.
4. Deputat O.P. Tsivilna oborona / Deputat O.P., Kovalenko I.V., Muzhik I.S.; za red. P.I. Kashina. – Lviv: PP «Vasilkevich K.I.», 2005. - 340 s.
5. Osnovi tsivilnogo zahistu / [Vasiychuk V.O., Goncharuk V.E., Kachan S.I., Mohnyak S.M.]. – Lviv: Vi-davnistvo Natsionalnogo universitetu "Lvivska politehnika", 2010. – 417 s.
6. Bukaty M.B. Geoinformatsionnyie sistemy i matematicheskoe modelirovanie / Bukaty M.B. - Tomsk: Izd. TPU, 2009. - 75 s.
7. Heoinformatsiini tekhnolohii v ekolohii / [Pitak I.V., Nehadailov A.A., Masikeyvych Yu.H. ta in.]. – Chernivtsi, 2012. – 273s.
8. Rastoskuev V.V. Geoinformatsionnyie tehnologii pri reshenii zadach ekologicheskoy bezopasnosti / V.V. Rastoskuev, E.V. Shalina. – SPb: VVM, 2006. – 256 s.
9. Orlov S.A. Tehnologii razrabotki programmnogo obespecheniya / Orlov S.A. — SPb: Piter, 2002. — 464 s.
10. Sorokatyi R.V. Osnovi ob'ektno-orientovanogo programuvannya movoyu S# / R.V. Sorokatyi, O.A. PasIchnik. – Hmelniitskiy: HNU, 2011. – 170 s.

Рецензія/Peer review : 26.03.2018 р.

Надрукована/Printed :20.05.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Сорокати́й Р.В.

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРОЕКТАМИ

В роботі описано програмну реалізацію інформаційної системи керування проектами, що надає можливість реєструватися, авторизуватися, планувати завдання, додавати (редагувати або видаляти) контакти та створювати нотатки. Програмне застосування використовує алгоритм, що повністю покриває весь необхідний функціонал для роботи з базами даних, й реалізований на платформі .Net Core та фреймворку React. Розроблене програмне забезпечення має досить зрозумілий інтерфейс, що набагато полегшує роботу для нових користувачів. Даний програмний продукт успішно пройшов стадію тестування та отримав позитивні відгуки від користувачів.

Ключові слова: інформаційна система, керування проектами, .Net Core, фреймворк React, планування задач.

V.Y. DYACHUK, O.A. PASICHNYK

Khmelnysky National University

PROJECT MANAGEMENT SYSTEM

Information management system is an important component of the corporate project management system, which greatly enhances the effectiveness of project management in an organization. It can include different modules, depending on the tasks that are solved within the framework of the corporate project management system. Information is collected, processed and distributed data that is useful for decision-making only when the information is provided in a timely, purposeful and convenient manner. This is solved by using modern information technologies within the framework of the project management system. Information system of project management - organizationally a technological set of methodical, technical, programmatic and informational means, aimed at supporting and increasing the efficiency of planning and project management processes in an organization, adjusted in accordance with corporate standards for project management and the needs of participants. The life cycle of a project is a period of time between the moments of its beginning and completion. It is divided into four phases: the conceptual phase, the phase of development, the phase of implementation, the phase of completion. The result of a project is a certain product or useful effect created during the project implementation. Depending on the purpose of the project, the following can serve as a result: scientific development, new technological process, program tool, construction object, restated curriculum, restructured company, certified quality system, etc. According to the results of the analysis of the subject area and its information support, the task of realizing the information management system of the projects has to fulfill the following functions: planning of different events that depend on each other; scheduling of staff work and resource management; calculation of time required for the solution of each task; sorting tasks depending on the terms of their completion; manage multiple projects at once; a list of tasks for employees and information on distribution of resurts; review information on the timing of tasks; Early warning of possible risks associated with the project; workload information; information on the progress of the project, indicators and their forecasting; calculation of the critical path; import existing project Microsoft Project. To implement the client interface, Javascript language and React JS framework were used. The project management information system consists of the following modules: the authorization and registration module, the project management module, the database interaction module, the critical path calculation module, the data export module, the import module from Google Calendar and Microsoft Project. The paper describes the program implementation of a project management information system, which allows you to register, authorize, plan tasks, add (edit or delete) contacts and create notes. The software application uses an algorithm that completely covers all the necessary functionality for working with databases, and is implemented on the .Net Core platform and the React framework. The developed software has a fairly understandable interface, which greatly simplifies the work for new users. This software product has successfully passed the testing phase and received positive feedback from users.

Keywords: information system, project management, .Net Core, React Framework, task scheduling.

Вступ

Інформаційна система керування проектами – це важливий компонент корпоративної системи керування проектами, істотно підвищує ефективність проектного менеджменту в організації. Вона може включати різні модулі в залежності від завдань, що вирішуються в рамках корпоративної системи керування проектами. Інформація – це зібрані, оброблені і розподілені дані, які є корисними для прийняття рішень, лише коли інформація буде надана своєчасно, за призначенням і в зручній формі. Це вирішується за допомогою використання сучасних інформаційних технологій в рамках системи керування проектами.

Інформаційна система управління проектом-організаційно технологічний комплекс методичних, технічних, програмних та інформаційних засобів, спрямований на підтримку і підвищення ефективності процесів планування та керування проектами в організації, налаштований з урахуванням корпоративних стандартів УП та потреб учасників.

Програмне забезпечення для керування проектами - клас комп'ютерних програм, розроблених спеціально для підтримки основних процесів управління, включаючи планування і контроль термінів, витрат, комунікації та ін. Очевидно, що більшість управлінських процесів у рамках проекту мають на увазі використання комп'ютерів і засобів зв'язку. Більше того, можна стверджувати, що від моменту зародження і до наших днів розвиток методів УП та їх практичне застосування в чому визначалися розвитком інформаційних технологій.

Проект має певні властивості [1, 2]:

1. Проект завжди має чітко визначену мету, яка виражається в отриманні певного результату. Досягнення цього результату означає успішне завершення і закінчення проекту.

2. Проект має чітко окреслене початок, що збігається з початком першої роботи, спрямованої на

досягнення поставленої мети. Початок може задаватися директивно, або розраховуватися в результаті складання плану робіт за проектом.

3. Проект має чітко окреслений кінець, який збігається з кінцем останньої роботи, спрямованої на отримання заданого результату. Як і початок, кінець проекту може задаватися директивно, або розраховуватися при складанні плану робіт.

4. Проект виконується командою, до складу якої входить керівник проекту, менеджери, виконавці. Крім основної команди в ньому можуть брати участь допоміжні виконавці, команди і організації, які залучаються на тимчасовій основі для виконання окремих робіт.

5. При реалізації проекту використовуються матеріальні ресурси, їх номенклатура та кількість визначаються характером проекту і роботами, що входять у нього.

6. Проект має бюджет. Вартість проекту складається з вартості витрачених матеріальних ресурсів, витрат по оплаті праці команди, що реалізує його й інших витрат, пов'язаних з особливостями конкретних видів робіт.

Життєвий цикл проекту – це проміжок часу між моментами його початку і завершення. Він ділиться на чотири фази [3]:

1) концептуальна фаза – формулювання цілей, аналіз інвестиційних можливостей, техніко-економічне обґрунтування і планування проекту.

2) Фаза розробки – включає визначення структури робіт і виконавців, побудова календарних графіків робіт, бюджету проекту, розробку проектно-кошторисної документації, переговори й укладання контрактів з підрядниками і постачальниками.

3) Фаза виконання – роботи з реалізації проекту, у тому числі будівництво, маркетинг, навчання персоналу і т.п.

4) Фаза завершення – приймальні випробування, дослідна експлуатація і здача проекту в експлуатацію.

Результат проекту – це деяка продукція або корисний ефект, створювані в ході реалізації проекту. В залежності від мети проекту, в якості результату можуть виступати: наукова розробка, новий технологічний процес, програмний засіб, будівельний об'єкт, реалізована навчальна програма, реструктурована компанія, сертифікована система якості і т.д.

Про успішність проекту судять по тому, наскільки його результат відповідає за своїми витратним, дохідним, інноваційним, якісним, тимчасовим, соціальним, екологічним та іншим характеристикам запланованому рівню.

Типовими прикладами сучасних систем управління проектами є Microsoft project (рис. 1), Open Plan Professional (рис. 2).

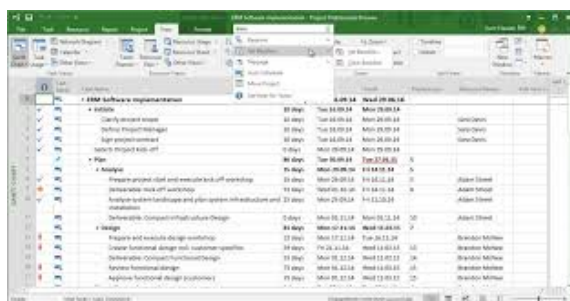


Рис. 1. «Microsoft Project»

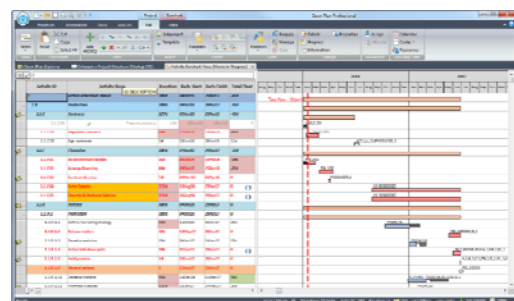


Рис. 2. «Open Plan Professional»

Основна частина

За результатами аналізу предметної області та її інформаційного забезпечення поставлено завдання реалізації інформаційної системи керування проектами що має виконувати такі функції:

- планування різних подій, що залежать одна від одної;
- планування розкладу роботи співробітників і управління ресурсами;
- розрахунок часу, необхідного на рішення кожної з задач;
- сортування завдань залежно від термінів їх завершення;
- управління декількома проектами одночасно;
- список завдань для співробітників та інформацію про розподіл ресурсів;
- огляд інформації про терміни виконання завдань;
- ранні попередження про можливі ризики, що пов'язані з проектом;
- інформація про робоче навантаження;
- інформація про хід проекту, показники і їх прогнозування;
- розрахунок критичного шляху;
- імпорт існуючого проекту Microsoft Project.

На основі виконаного аналізу характеристик, переваг та недоліків існуючих серверних технологій та клієнтських мов програмування для реалізації інформаційної системи керування проектами було обрано серверну технологію ASP.NET для реалізації Web сервіса та мову JavaScript для реалізації клієнтського

застосунка.

Новітньою версією технології Active Server Pages є ASP .NET, ключова в архітектурі Microsoft .NET Framework. Основна відмінність цієї технології від ASP з точки зору архітектури додатків полягає в тому, що код, присутній на Web-сторінці, не тлумачиться, а компілюється і кеширується, що, природно, сприяє підвищенню продуктивності додатків [4].

За допомогою ASP .NET можна створювати Web-додатки і Web-сервіси, які не тільки дозволяють реалізувати динамічну генерацію HTML-сторінок, але і інтегруються з серверними компонентами і можуть використовуватися для розв'язання широкого кола бізнес-задач, що виникають перед розробниками сучасних Web-додатків.

Реалізація програмного додатку базується на шаблоні Single Page Application (односторінковий застосунок) – це архітектурний шаблон, що використовується під час розробки та проектування програмного забезпечення (рис. 3).

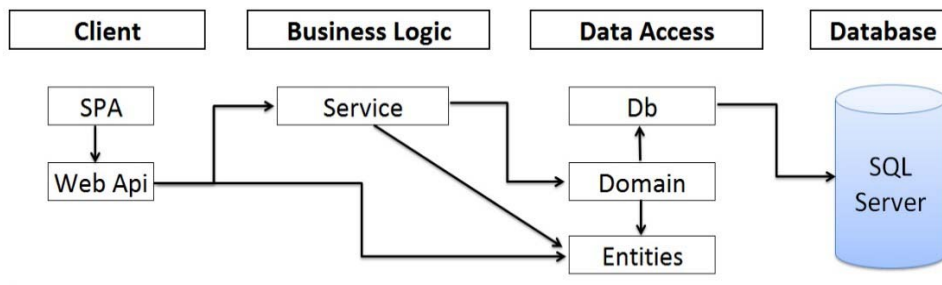


Рис. 3. «Схема Single Page Application»

SPA (single page application) – це веб-додаток, що працює на одній сторінці. Він підвантажує всі необхідні javascript і css файли при першому завантаженні сторінки, а потім все спілкування між клієнтом і сервером зводиться до мінімуму. Тобто при такому підході більша частина роботи сайту проводиться на стороні клієнта, а якщо потрібно отримати дані з сервера, то це робиться за допомогою JSON [5].

На основі виконаного аналізу характеристик, переваг та недоліків існуючих систем керування базами даних для інформаційної системи керування проектами було обрано MS SQL.

Microsoft SQL Server як мову запитів використовує версію SQL, що отримала назву TRANSACT-SQL (скорочено T-SQL), яка є реалізацією SQL-92 (стандарт ISO для SQL) з багатьма розширеннями. T-SQL дозволяє використовувати додатковий синтаксис процедур, що зберігаються і забезпечує підтримку транзакцій (взаємодія бази даних з керуючим застосунком). Microsoft SQL Server та Sybase ASE для взаємодії з мережею використовують протокол рівня застосунка під назвою Tabular Data Stream (TDS, протокол передачі табличних даних)[6].

Для реалізації клієнтського інтерфейсу використовувалася мова Javascript та фреймворк React JS.

JavaScript – мультипарадигматична мова програмування, що підтримує об'єктно-орієнтований, імперативний та функціональний стилі та є реалізацією мови ECMAScript (стандарт ECMA-262). JavaScript зазвичай використовується як вбудована мова для програмного доступу до об'єктів застосувань. Найбільш широке застосування знаходить в браузері як мова сценаріїв для надання інтерактивності веб-сторінкам [7].

React – це бібліотека JavaScript, яка використовується для створення призначеного для користувача інтерфейсу. React був створений компанією Facebook, а перший реліз бібліотеки побачив світ у березні 2013 року. Поточної версії на даний момент (жовтень 2017 року) є версія React v16.0. Спочатку React призначався для вебу, для створення веб-сайтів, проте пізніше з'явилася платформа React Native, яка вже призначалася для мобільних пристроїв.

React представляється ідеальний інструмент для створення масштабованих веб-додатків (в даному випадку мова йде про фронтенд), особливо в тих ситуаціях, коли додаток являє SPA (односторінковий додаток). React відносно простий в освоєнні, має зрозумілий та лаконічний синтаксис[8].

Функціональне призначення модулів системи. Клієнт: створення HTML, маршрутизація, логіка роботи графічного інтерфейсу. Сервер: статичний веб-сервер, API сервісу.

Інформаційна система керування проектами складається з таких модулів: модуль авторизації та реєстрації, модуль керування проектами, модуль взаємодії з базою даних, модуль розрахунку критичного шляху, модуль експорту даних, модуль імпорту з Google Calendar та Microsoft Project.

Модуль авторизації та реєстрації призначений для реєстрації та авторизації учасників проекту.

Модуль керування проектами надає інтерфейс керування проектами що включає такі функції: перегляд, додавання та редагування проектів; планування різних подій, що залежать одна від одної; планування розкладу роботи співробітників і управління ресурсами; розрахунок часу, необхідного на розв'язання кожної з задач; сортування завдань залежно від термінів їх завершення; управління декількома проектами одночасно; список завдань для співробітників та інформацію про розподіл ресурсів; огляд інформації про терміни виконання завдань;

Модуль взаємодії з базою даних забезпечує Web API інтерфейс отримання, додавання та редагування даних проекту.

В розрахунковому модулі на основі даних проекту розраховується критичний шлях.

Модуль експорту даних включає наступні функції: експорт усього проекту в файл; генерація звітів в форматі Excel

Модуль імпорту з Google Calendar та Microsoft Project забезпечує імпорт з існуючих інформаційних систем керування проектами.

Висновки

В роботі описано програмну реалізацію інформаційної системи керування проектами, що надає можливість реєструватися, авторизуватися, планувати завдання, додавати (редагувати або видаляти) контакти та створювати нотатки. Програмне застосування використовує алгоритм, що повністю покриває весь необхідний функціонал для роботи з базами даних, й реалізований на платформі .Net Core та фреймворку React.

Розроблене програмне забезпечення має досить зрозумілий інтерфейс, що набагато полегшує роботу для нових користувачів. Даний програмний продукт успішно пройшов стадію тестування та отримав позитивні відгуки від користувачів.

Література

1. Бушуєва Н. С. Управління проектами та програмами організаційного розвитку : навч. посібн. / Н.С. Бушуєва, Ю.Ф. Ярошенко, Р.Ф. Ярошенко. – К. : Саммит-Книга, 2010. – 200 с
2. Мартин П. Управление проектами / Мартин П., Тейт У. – СПб : Питер, 2006. – 224 с.
3. Бэ́гьюли Ф. Управление проектом / Ф. Бэ́гьюли. – М. : P.m.Office, 2004. – 247 с.
4. Adam Freeman Pro ASP.NET MVC 4 / A. Freeman – Appress, 2013. – 132 с.
5. Миковски М. Разработка одностраничных веб-приложений / Миковски М. – М. : ДМК Пресс, 2014. – 512 с.
6. Бондарь А.Г. Microsoft SQL Server 2012 / Бондарь А.Г. – СПб : БХВ Петербург, 2013. – 458 с.
7. Никольский А.П. JavaScript на примерах / Никольский А.П. – М. : Наука и техника, 2017. – 272 с.
8. Бенкс. А. React и Redux: функциональная веб-разработка / Бенкс А. – СПб : Питер, 2018. – 240 с.

References

1. Bushuyeva N. S. Upravlinnya proektami ta programami organizacijnogo rozvitku: navch. posibn. / N.S. Bushuyeva, YU.F. YAroshenko, R.F. YAroshenko. – K.: Sammit-Kniga, 2010. – 200 s
2. Martin P. Upravlenie proektami / Martin P., Tejt U. – SPb.: Piter, 2006. – 224 s.
3. Behg'yuli F. Upravlenie proektom / F. Behg'yuli. – M.: P.m.Office, 2004. – 247 s.
4. Adam Freeman Pro ASP.NET MVC 4; Apress, 2013. - 132 p.
5. Mikovski M., Razrabotka jednostranichnyh veb-prilozhenij / Mikovski M. – M.; DMK Press, 2014 – 512 s.
6. Bondar' A.G. Microsoft SQL Server 2012 / Bondar' A.G. – SPb.: BHV Peterburg, 2013. – 458 s.
7. Nikol'skij A.P. JavaScript na primerah / Nikol'skij A.P. – M.: Nauka i tekhnika, 2017. – 272 s.
8. Benks. A. React i Redux: funkcional'naya veb-razrabotka / Benks A. – SPb.: Piter, 2018. – 240 s.

Рецензія/Peer review : 27.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 14.05.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сорокати́й Р.В.

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЗНАЧЕННЯ СЕМАНТИЧНИХ ТЕРМІНІВ В ЕЛЕМЕНТАХ НАВЧАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

У статті досліджено проблему автоматизації побудови семантичної моделі навчального курсу у вигляді онтології. Встановлено, що ключовим аспектом побудови онтології навчального курсу є визначення множини ключових семантичних термінів у контенті елементів навчальних матеріалів. Запропоновано інформаційну технологію автоматизованого визначення множини ключових семантичних термінів у контенті елементів навчальних матеріалів, що ґрунтується на пошуку використаних фраз у тексті та дисперсійній оцінці важливості слів. Відповідно до даної інформаційної технології, на основі введених даних у вигляді файлу навчального матеріалу автоматизовано формується структура електронного документу для вибору елементу для аналізу, після чого проводиться сегментація за фразами і термінами, терміни лематизуються та їх множина компактифікується. На основі автоматично лематизованого фрагменту тексту проводиться пошук та дисперсійне оцінювання важливості слів у обраному фрагменті, після чого оцінюється важливість термінів, а їх кількість обмежується відповідно до коефіцієнту щільності ключових слів. Вхідними даними інформаційної технології є електронний документ навчального матеріалу та обраний елемент для аналізу, вихідними даними є відповідна множина ключових семантичних термінів навчального матеріалу. Розглянуто тестовий програмний продукт, що дозволяє автоматизовано визначати множину ключових семантичних термінів за даною інформаційною технологією. Проведені дослідження підтвердили можливість ефективно формувати множини ключових семантичних термінів елементів навчальних матеріалів з середніми показниками точності пошуку до 73,2% та повноти пошуку до 69,7%. Аналіз отриманих результатів виявив, що відсутність програмно визначених термінів у множині автора не завжди характеризує недолік розглядуваної технології. Деякі семантично важливі терміни автори суб'єктивно ігнорують, в той час як іншу категорію складають поняття, на яких автори акцентують надмірну увагу попри їх другорядність в рамках матеріалу, що викладається. Встановлена ефективність запропонованої інформаційної технології сприяє її використанню для вирішення ряду актуальних задач, таких як семантична допомога при створенні тестів, автоматизація формування рефератів та анотацій до елементів навчальних матеріалів, оцінка відповідності навчальних матеріалів змістовим вимогам, оцінка відповідності наборів тестових завдань навчальним матеріалам тощо.

Ключові слова: онтологія, ключові терміни, ключові слова, електронний документ, навчальні матеріали, дисперсійна оцінка.

O. MAZURETS

Khmelnytsky National University

INFORMATION TECHNOLOGY FOR AUTOMATED DEFINITION OF SEMANTIC TERMS IN THE CONTENT OF THE ELEMENTS OF EDUCATIONAL MATERIALS

The problem of automation of the construction of semantic model of educational courses in the form of an ontology was investigated in the article. It has been established, that the key aspect of constructing of the ontology of educational courses is to make the set of key semantic terms of the contents of educational material elements. The information technology of automated determination of key semantic terms in the content of educational materials elements is considered, which is based on the search of used phrases and the disperse evaluation of words importance. In accordance with this information technology, on the basis of the data entered as an educational material file, the structure of a electronic document is automatically formed to select an element for analysis, after which segmentation is performed by phrases and terms, the terms are lemmatized and set of them is compactified. On the basis of automatically lemmatized fragment of text, a search and disperse evaluation of the importance of words in the chosen fragment is performed, after which the terms importance is calculated, and their number is limited by the value of the keyword density ratio. Input data of information technology is a electronic document of educational material, the output data is the corresponding set of key semantic terms of the educational material. The results of the analysis of the regularities of the existing sets of key semantic terms are also described. The test program that allows to automate the determination of sets of key semantic terms using this information technology is considered. Conducted investigations confirmed the possibility of effectively forming the set of key semantic terms of educational materials, average evaluated search precision metrics 73.2% and search recall 69.7%. The analysis of the results showed that the lack of programmed terms in the author's set does not always characterize the lack of considered technology. Some semantically important terms are subjectively ignored by the authors, while another category is made up of concepts in which the authors emphasize excessive attention to their secondary character within the framework of the material being taught. The established effectiveness of the proposed technology allows use it to solution a number of urgent tasks, such as semantic assistance in creating tests, automation of the creation of abstracts and annotations to the elements of educational materials, determination the conformity of educational materials to content requirements, determination the conformity of sets of test tasks to educational materials, etc.

Keywords: ontology, key terms, keywords, electronic document, educational materials, disperse evaluation.

Постановка проблеми в загальному вигляді

На сучасному етапі засобом реалізації освіти, зокрема дистанційної, є інформаційні технології. Це визначає необхідність формалізації та стандартизації навчального процесу [1]. Загальноприйнятим є підхід застосування навчальних матеріалів у вигляді електронних документів визначеної структури як інструменту навчання. Для роботи з курсами навчальних дисциплін використовуються спеціалізовані віртуальні навчаючі середовища, найбільш відомим із яких є Moodle [2]. При їх використанні, потенційна якість отриманих освітніх послуг безпосередньо визначається якістю навчальних матеріалів курсу. В умовах вузької спеціалізації курсів дисциплін, їх численності та швидкого оновлення, перспективним шляхом

оцінки якості навчальних курсів та їх елементів є автоматизація вирішення відповідного ряду задач у сучасній вищій освіті. До таких задач належать: автоматизація побудови семантичної моделі навчальних курсів, оцінка відповідності навчальних матеріалів вимогам, допомога та контроль якості при формуванні навчальних матеріалів, оцінка відповідності наборів тестових завдань навчальним матеріалам, допомога та контроль якості при формуванні тестів до навчальних матеріалів, автоматизована генерація прототипів тестових завдань, реалізація гнучких алгоритмів тестування, автоматизація формування анотацій і рефератів до елементів навчальних матеріалів тощо. Вирішення всіх цих задач може бути реалізоване через автоматизацію побудови семантичної моделі навчальних курсів та її використання у відповідних інформаційних технологіях.

Зі змістовної точки зору, базовою властивістю контенту є його семантика, яку формалізовано відображають у вигляді мережі, вузлами якої є терміни, що несуть семантичне навантаження, а дуги відображають характер зв'язку між вузлами [3]. Зв'язок між термінами навчальних матеріалів залежить від багатьох факторів (тип лекції, галузь знань, літературні здібності автора, тощо) й може змінюватися у широких межах без втрати якості викладання, тому актуальність його аналізу низька. Відповідно, аналіз саме термінів, що використовуються у навчальних матеріалах, дозволяє сформувати семантичну модель навчального курсу й вирішити наведений ряд задач.

Аналіз останніх досліджень

Задачу автоматизованої аналітичної обробки текстової інформації намагаються вирішити багато вітчизняних та іноземних авторів, серед яких можна виділити роботи Д.В. Ланде, В.Е. Снитюка, В.І. Горькової, Є.А. Борохова, Х.П. Луна, В.Є. Берзона, І.П. Севбо, В.П. Леонова, С.І. Гінді та інших. Дослідження й розробки в напрямку автоматизації обробки текстів у Європі й США привертають увагу відомих приватних фірм і державних організацій найвищого рівня. Європейський Союз вже декілька років координує ряд програм у галузі автоматичної обробки тексту, наприклад Human Language Technology Sector of the Information Society Technologies (IST) Programme [4]. Основні розробки присвячено автоматизації процесу синтаксичного аналізу.

Більшість існуючих програмних продуктів в розглядуваній області призначені переважно для SEO аналізу текстів. Наприклад, аналізатор від біржі контенту "Адвего" [5] вираховує кількість слів, кількість граматичних помилок і т.п. Сервіс також дозволяє побачити перелік ключових слів, які вираховуються за методом частотної оцінки. Текстовий аналізатор від компанії "Seozor" [6] допомагає визначити вагу слів в тексті для складання анкор-листа.

Для автоматизації пошуку ключових слів використовуються різноманітні методи аналізу текстів, таких як частотна оцінка, оцінка TFIDF та дисперсійна оцінка [7]. Ці методи дозволяють співставити окремим словам або словосполученням тексту деякі певним чином поставлені у відповідність числові вагові значення, що вказують на міру їх важливості в досліджуваному тексті [8]. Попередніми дослідженнями було визначено найбільш ефективним методом аналізу текстів метод дисперсійної оцінки, проте встановлено й ряд факторів, які ускладнюють його монопольне застосування для вирішення задачі автоматизованого визначення семантичних термінів в навчальних матеріалах [9]. Зокрема, малий обсяг контенту та вузька семантична направленість елементів аналізу зменшує ефективність наведених методів аналізу текстів. Тому є доцільною розробка нової інформаційної технології, яка із використанням методу дисперсійної оцінки дозволить ефективно й автоматизовано визначати семантичні терміни в навчальних матеріалах.

Постановка задачі

Метою роботи є розробка інформаційної технології автоматизованого визначення множини ключових семантичних термінів у електронних документах навчальних матеріалів й визначення її ефективності.

Викладення основних матеріалів дослідження

Семантика начального матеріалу виражається його логічною структурою (наприклад: Дисципліна / Розділ / Тема) та поняттями, що розглядаються в ньому. Очевидно, що ієрархія змістовних блоків визначає верхній рівень вертикальної онтології відповідної навчальної дисципліни [3]. Якщо розглядати ієрархію змістовних блоків начального матеріалу як рівні вертикальної онтології відповідної навчальної дисципліни, то, ключові терміни є найнижчим рівнем онтології начального матеріалу навчальної дисципліни (рис. 1). Така формалізація досліджуваного процесу визначає структуру моделі онтології начального матеріалу.

Множини ключових термінів кожного елементу ієрархії змістовних блоків навчального матеріалу можуть мати довільну кількість елементів й у сукупності формують загальну множину ключових термінів навчального матеріалу. За такої моделі, онтологія навчального матеріалу може бути методом виявлення сенсу навчального матеріалу. Пошук множин ключових семантичних термінів у навчальних матеріалах необхідний для всіх елементів ієрархії змістовних блоків, тому інформаційна технологія має використовуватись не тільки для електронного документу загалом, а й для його елементів.

Загальну схему інформаційної технології автоматизованого визначення множини ключових семантичних термінів у електронних документах навчальних матеріалів відображено на рис. 2.

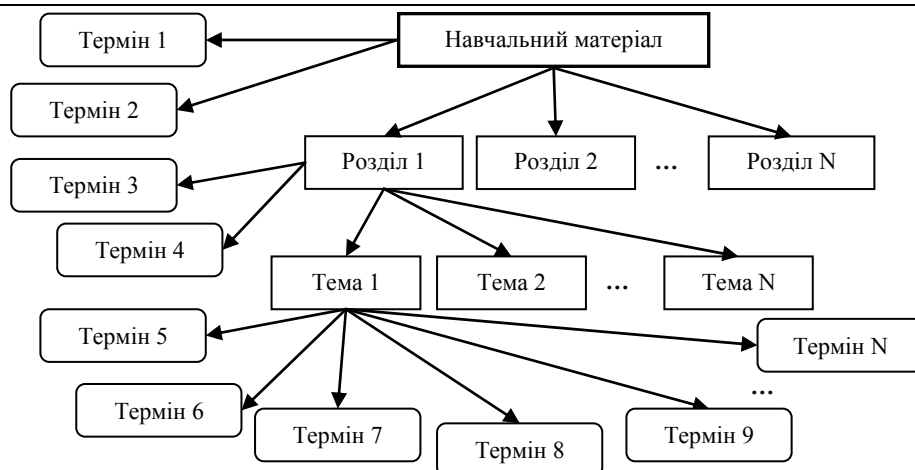


Рис. 1. Вихідна модель онтології навчального матеріалу



Рис. 2. Схема інформаційної технології автоматизованого множини ключових семантичних термінів

Сегментація та вибір фрагменту для аналізу (Блок 1) полягає в аналізі структури електронного документу. Зважаючи на існуючі загальноприйняті вимоги до структури навчальних матеріалів навчальних дисциплін, можна зробити висновок про відповідність системи заголовків навчальних матеріалів як електронних документів верхнім рівням семантичної структури навчального матеріалу. Наприклад, назви дисциплін відповідатимуть елементам стандартного стилю «Heading 1», назви розділів – «Heading 2», назви тем – «Heading 3» тощо.

Блок 2 (Сегментація за фразами) призначений для розбиття фрагменту контенту електронного документу, що обробляється, на менші фрагменти – фрази. Під фразою розуміється семантично цілісний вузол, що виокремлений стилістичним форматуванням тексту чи розділовими знаками, й локалізує місцезнаходження окремих термінів. Відповідно до об'єктної моделі документу MS Office, TextRange є найнижчим рівнем структури документу, що визначає фрагмент тексту однакового стилю в межах Paragraph [10]. Відтак до множини фраз включаються неперервні впорядковані послідовності слів, що не виходять за межі контейнерів електронного документу TextRange та не перериваються розділовими знаками. Одержання в результаті виконання блоку множини фраз дає можливість в подальшому обробляти на предмет пошуку термінів кожен з фраз окремо.

Блок 3 (Сегментація за термінами) забезпечує формування множини всіх можливих термінів, що присутні у досліджуваному контенті. До множини термінів навчального матеріалу M_T включаються всі можливі неперервні впорядковані послідовності слів, які не виходять за межі фраз та відповідають умові:

$$M_T = \left\{ \begin{array}{l} \langle x_1 \rangle | x_1 \in M_I \\ \langle x_1, x_2 \rangle | x_1 \in M_I \cup M_{II}, x_2 \in M_I \cup M_{II}, \langle x_1, x_2 \rangle \cup M_I \neq \emptyset \\ \langle x_1, x_2, x_3 \rangle | x_1 \in M_I \cup M_{II}, x_3 \in M_I \cup M_{II}, \langle x_1, x_2, x_3 \rangle \cup M_I \neq \emptyset \\ \langle x_1, x_2, x_3, x_4 \rangle | x_1 \in M_I \cup M_{II}, x_4 \in M_I \cup M_{II}, \langle x_1, x_2, x_3, x_4 \rangle \cup M_I \neq \emptyset \\ \langle x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \rangle | x_1 \in M_I \cup M_{II}, x_5 \in M_I \cup M_{II}, \langle x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \rangle \cup M_I \neq \emptyset \\ \langle x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \rangle | x_1 \in M_I \cup M_{II}, x_6 \in M_I \cup M_{II}, \langle x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \rangle \cup M_I \neq \emptyset \end{array} \right\} \quad (1)$$

де M_M – множина семантично значущих елементів (іменників M_I та прикметників M_{II}) та семантично зв'язуючих елементів (сполучників M_C , часток M_q та прийменників M_{III}), $M_M = M_I \cup M_{II} \cup M_C \cup M_q \cup M_{III} \cup \emptyset$. Сегментація по термінах проводиться з використанням бази даних корпусу слів української мови та в якості вихідних даних формує множину термінів M_T , що містяться в оброблюваному фрагменті електронного документу навчального матеріалу.

Блок 4 (*Лематизація та калькуляція термінів*) дозволяє на основі множини термінів M_T сформувати множину лемо-незалежних термінів M_{TL} , а також співставити кожному із них кількість появ у досліджуваному тексті. Для цього спершу проводиться лематизація кожного слова у кожній фразі в множині M_T . Під лематизацією мається на увазі приведення слів до інфінітивного стану – наприклад, іменники переводяться у називний відмінок однини. Після чого одержана множина обробляється й компактифікується таким чином, що всі ідентичні повторення термінів видаляються, а кожному терміну співставляється величина K_n , що відображає встановлену кількість появ даного терміну n у вхідній множині M_T .

Оскільки на етапі формування множини термінів M_T до неї додавались усі можливі варіанти термінів в межах фраз без поглинання більшими словосполученнями менших, в даному блоці проводиться аналіз необхідності такого поглинання. Якщо в множині M_{TL} існує термін n_1 (K_{n1} – кількість появ терміну n_1 в множині M_{TL}), що є впорядкованою множиною з x_1 слів, та термін n_2 (K_{n2} – кількість появ терміну n_2 в множині M_{TL}), що є впорядкованою множиною з x_2 слів, причому n_1 є підмножиною n_2 й $x_1 < x_2$, то при вірності виразу $2x_1 > x_2$ термін видаляється з результуючої множини. З метою спрощення подальшої обробки із одержаної множини M_{TL} доцільно також видаляти всі терміни, в яких $K_n=1$, оскільки однократне використання терміну виключає факт цілеспрямованого розгляду відповідного поняття в структурній одиниці навчального матеріалу. Одержана в результаті множина лемо-незалежних термінів M_{TL} містить терміни, що використовуються у навчальному матеріалі з кількісним показником використання, але не визначає важливості даних термінів.

Блок 5 (*Лематизація текстового контенту обраного параграфу*) переводить текст визначеного фрагменту контенту електронного документу навчального матеріалу, що аналізується, до відповідної послідовності слів у інфінітивному стані, що є вихідними даними цього блоку. Вони дозволяють проводити подальше оцінювання дисперсії слів.

Блок 6 (*Пошук та дисперсійне оцінювання важливих слів у параграфі*) призначений для оцінки важливості кожного слова в досліджуваному тексті, що проводиться з використанням методу дисперсійного оцінювання, який є оцінкою дискримінантної сили слів. Метод дисперсійного оцінювання дозволяє відділити із загальної множини широковживаних у тексті слів слова, що розташовані рівномірно й показав свою високую ефективність у попередніх дослідженнях [9].

Вихідними даними блоку є впорядкована множина слів, кожному з яких співставлена оцінка його дисперсії, що розглядається як оцінка важливості даного слова у досліджуваному фрагменті електронного документу.

Блок 7 (*Оцінка важливості термінів*) вхідними даними має множину лемо-незалежних термінів M_{TL} із співставленою кожному з них кількістю появ у досліджуваному тексті та впорядковану множину слів із співставленою кожному з них оцінкою його важливості (дисперсії) у досліджуваному тексті.

Оцінка важливості v_n кожного терміна n із множини M_{TL} обчислюється за формулою:

$$v_n = \sum_{i=1}^{x_n} \frac{K_n \sigma_n}{k_n}, \quad (2)$$

де K_n – кількість появ терміну n в множині M_{TL} ; k_n – кількість появ i -го слова терміну n в лематизованому текстовому контенті визначеного фрагменту електронного документу; σ_n – дисперсійна оцінка для i -го слова терміну n ; x_n – кількість слів у терміні n .

Вихідними даними блоку є множина лемо-незалежних термінів M_{TL} із співставленими кожному з них кількістю появ у тексті та значенням оцінки важливості, впорядкована за спаданням номінального значення оцінки важливості терміна.

Блок 8 (*Обмеження кількості термінів*) призначений для формування множини ключових термінів за вхідними даними – множиною лемо-незалежних термінів M_{TL} . Множина ключових термінів формується на основі лемо-незалежних термінів із множини M_{TL} з найбільшими значеннями оцінки важливості, а їх

кількість впливає із визначення відомого показника з семантичної обробки текстів, щільності ключових слів [11]. Щільність ключових слів P_{txt} є відношенням кількості слів ключових термінів в тексті до загальної кількості слів у тексті й для навчальних матеріалів становить 6–8%. Відповідно, до порожньої результуючої множини ключових термінів M_{TK} додаються терміни з множини M_{TI} з найбільшими значеннями оцінки важливості доти, доки справджується рівність:

$$\sum_{i=1}^n \frac{K_n x_n}{X_{\text{txt}}} \leq P_{\text{txt}}, \quad (3)$$

де K_n – кількість появ терміну n в множині M_{TI} ; x_n – кількість слів у терміні n ; X_{txt} – загальна кількість слів у тексті; n – поточна кількість термінів у множині M_{TK} .

Отже, розглянута інформаційна технологія автоматизованого визначення семантичних термінів в елементах навчальних матеріалів дозволяє на основі електронного документу навчального матеріалу автоматизовано отримувати відповідний перелік ключових термінів визначеного елемента навчального матеріалу.

Практичне дослідження ефективності

Запропонована інформаційна технологія автоматизованого визначення семантичних термінів в елементах навчальних матеріалів була реалізована в тестовому програмному продукті. Вхідними даними для системи є електронний документ навчального матеріалу, а вихідними даними є множина ключових термінів, відповідна досліджуваному фрагменту контенту електронного документу навчального матеріалу. Створений програмний продукт на основі введених даних у вигляді файлу навчального матеріалу автоматично моделює структуру електронного документу для вибору елемента для аналізу, після чого проводиться сегментація по фразах та термінах, терміни лематизуються й їх множина компактифікується, паралельно на основі автоматично лематизованого тексту проводиться пошук та дисперсійне оцінювання важливості слів у обраному фрагменті, після чого оцінюється важливість термінів, а їх кількість обмежується відповідно до вище розглянутої математичної моделі. Зокрема, на рисунку 3 показано приклад обробки теми «Нейромережі когнітрон та неокогнітрон» навчального матеріалу дисципліни «Методи та системи штучного інтелекту».

Пошук термінів у навчальних матеріалах

Текст	Фрази	Терміни кандидати	Поглинання термінів	Дисперсійна оцінка	Оцінка ваги термінів	Результат	Робота з БД кортусу слів	Виділені фрази
Перелік термінів в нормальній формі								
	№	Термін	Кількість	Оцінка по вазі слова	Оцінка дисперсії			
	0	когнітрон	54	4,31814012022811	82,0446622841821			
	36	нейрон	41	1,81714775389462	72,6839181567807			
	1	неокогнітрон	36	1,84731265503282	64,6558429261488			
	10	образ	46	1,13468861088208	61,0634828846434			
	136	комплексний вузол	15	1,98886362894688	33,8320072077213			
	188	відний образ	13	1,05291566632231	31,210118314683			
	5	навчання	13	1,58138227476625	20,6830995719613			
	189	простий вузол	6	0,879888768268561	15,8991625015246			
	129	зорової кори	9	1,58128636232337	15,1429668936606			
	236	площина комплексних вузлів	4	1,04402860800507	13,3678584364414			
	33	розпізнавання	8	1,40488214724804	11,2390571779843			
	47	вага	13	0,920117001008345	10,1212000011028			
	240	зоровий корі людини	4	1,19798748812682	9,8282808988424			
	246	входи свабрами	2	0,383251114206465	9,53203510446896			
	15	позиція	6	1,53291387384463	9,1978324306776			
	2	мережа	10	0,8866168466182	8,8863168466182			
	278	той же образ	2	0,549629281956201	8,22604220108398			
	133	поляції образу	3	0,840451838813101	7,92851225161932			
	187	структуру неокогнітрон	3	0,438667634806627	7,79246966681468			
	29	система	18	0,756394587328298	7,56394587328298			
	144	розпізнавання образів	3	0,600829708108801	7,34441787182958			
	284	прошарок комплексних вузлів	2	0,514468838008547	6,8863171137461			
	310	активності збуджуючих пресинаптичних нейронів	1	0,168767923465079	6,87439325375707			
	361	нейрони розміром 5x5 й області	1	0,205897066497468	6,81807675837357			
	341	різниця збуджуючого й гальмуючого сигналу	1	0,103127625076444	6,79734926988756			

Рис. 3. Одержання множини ключових термінів розробленим програмним продуктом

Структуру програмного продукту у вигляді діаграми класів відображено на рисунку 4. Відповідно до діаграми, пошук ключових термінів та робота з ключовими термінами реалізовані у класі WordCombination. Клас IMainForm забезпечує інтерфейс для головної форми взаємодії з користувачем, а MainForm є класом користувацької форми. Для збереження і роботи з комбінаціями слів (словосполученням) використовується клас Combination. Клас WigthCombination наслідує клас Combination і

розширює його можливостями обрахунку ваги словосполучення. IWorkWithServer реалізує інтерфейс для роботи з базою даних, а WorkWithServer забезпечує роботи з базою даних Microsoft SQL Server, який використовується як для збереження даних роботи, так і для використання бази даних корпусу слів української мови. Клас PresenterWork використовується для взаємодії графічної частини й логіки програми. WighWord є класом для обрахунку ваги слова в контексті досліджуваного фрагменту тексту. Для зберігання множини слів і всіх пов'язаних із ним даних використовується клас Word. Клас SelectTerm зберігає терміни, виділені в тексті і тип виділення для подальшого аналізу важливості термінів. Section – клас, який приймає текст в межах певного параграфа й організовує подальшу обробку даного фрагменту. Для первинного аналізу тексту і розбиття його на параграфи (контент, прив'язаний до одного елементу заголовку Heading, використовується клас ProcessText).

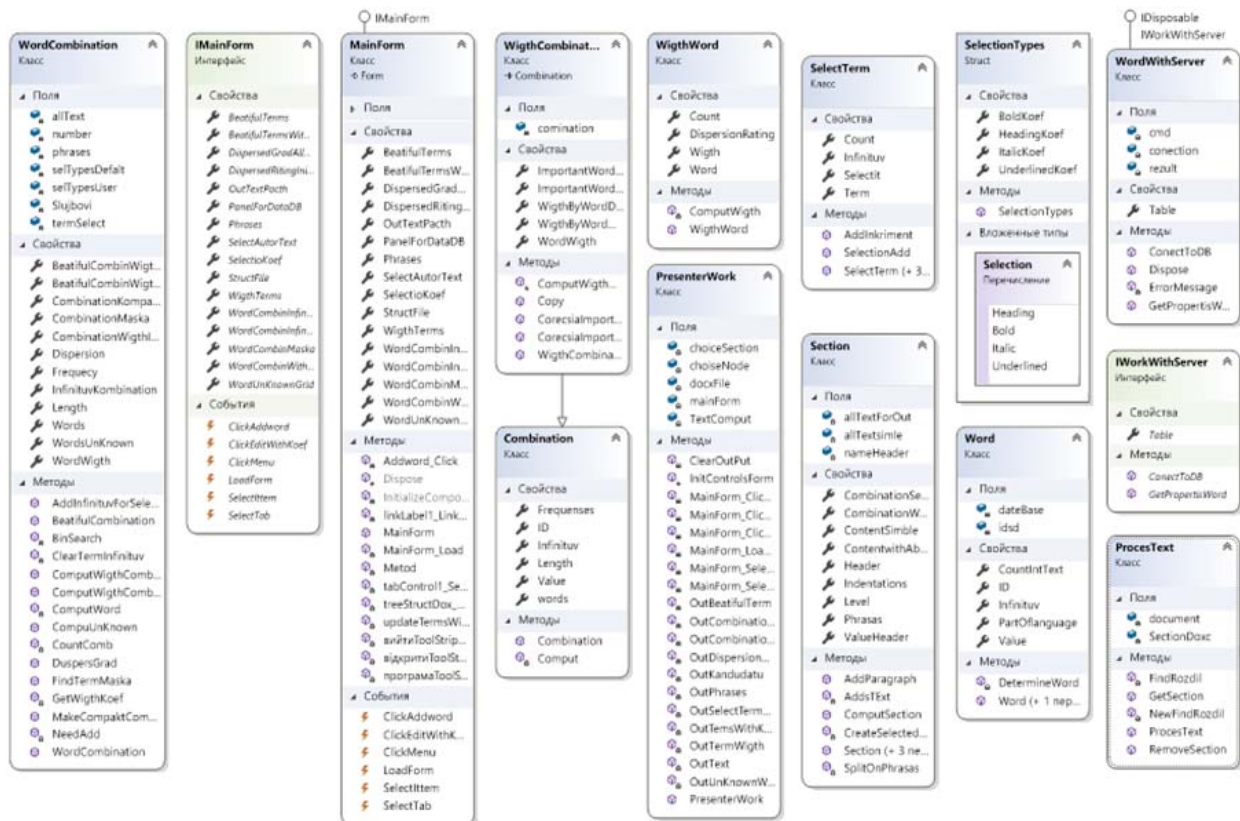


Рис. 4. Діаграма класів програмного продукту для автоматизованого визначення ключових термінів

Ефективність практичного застосування розглянутої інформаційної технології автоматизованого визначення семантичних термінів в елементах навчальних матеріалів може бути визначена шляхом оцінки результатів використання відповідного програмного продукту за показниками точності та повноти [12].

Точність пошуку P (Precision, відношення кількості релевантних ключових термінів, знайдених автоматично, до загальної кількості знайдених ключових термінів в досліджуваному тексті) та повнота пошуку R (Recall, відношення кількості релевантних ключових термінів, знайдених автоматично, до загальної кількості релевантних ключових термінів в досліджуваному тексті) обчислюються за наступними формулами:

$$P = \frac{|M_{TK}^E \cap M_{TK}|}{|M_{TK}|}, \quad R = \frac{|M_{TK}^E \cap M_{TK}|}{|M_{TK}^E|}, \quad (4)$$

де M_{TK}^E – множина релевантних ключових термінів, сформована експертом; M_{TK} – множина знайдених автоматично ключових термінів.

Середня точність пошуку $\bar{P}$ та середня повнота пошуку $\bar{R}$ визначаються наступним чином:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^k P_k}{k}, \quad \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_k}{k}, \quad (5)$$

де k – кількість навчальних матеріалів у тестовій вибірці.

Для визначення ефективності практичного застосування інформаційної технології автоматизованого визначення семантичних термінів в елементах навчальних матеріалів, тестовим програмним продуктом було оброблено тестову вибірку з 50 файлів навчальних курсів. Наприклад, у результаті тестування розглянутого

на прикладі рис. 3 навчального матеріалу за показника щільності ключових слів 7% було отримано наступне:

- до множини ключових термінів автоматично було віднесено наступний перелік термінів: когнітрон, неокогнітрон, нейрон, комплексний вузол, простий вузол, образ, вхідний образ, навчання;
- до множини ключових термінів експертом було віднесено наступний перелік термінів: когнітрон, неокогнітрон, нейрон, збуджуючий нейрон, гальмуючий нейрон, комплексний вузол, простий вузол.

Відповідно до математичних моделей (4), даному випадку точність пошуку склала 0,625, а повнота пошуку склала 0,714. Відповідно до (5), середня точність пошуку для дослідженої вибірки з 50 файлів навчальних курсів склала 0,732, а середня повнота пошуку склала 0,697. Мінімальна точність пошуку одержана 0,512, мінімальна повнота пошуку – 0,581; максимальна точність пошуку – 0,929, максимальна повнота пошуку – 1,000.

Висновки

У статті було досліджено проблему автоматизації побудови семантичної моделі навчального курсу у вигляді онтології. Встановлено, що ключовим аспектом побудови онтології навчального курсу є визначення множини ключових семантичних термінів у контенті елементів навчальних матеріалів.

Запропоновано інформаційну технологію автоматизованого визначення множини ключових семантичних термінів у контенті елементів навчальних матеріалів, що ґрунтується на пошуку використаних фраз у тексті та дисперсійній оцінці важливості слів. Відповідно до даної інформаційної технології, на основі введених даних у вигляді файлу навчального матеріалу автоматизовано формується структура електронного документу для вибору елементу для аналізу, після чого проводиться сегментація по фразах і термінах, терміни лематизуються та їх множина компактифікується. На основі автоматично лематизованого фрагменту тексту проводиться пошук та дисперсійне оцінювання важливості слів у обраному фрагменті, після чого оцінюється важливість термінів, а їх кількість обмежується відповідно до коефіцієнту щільності ключових слів. Вхідними даними інформаційної технології є електронний документ навчального матеріалу та обраний елемент для аналізу, вихідними даними є відповідна множина ключових семантичних термінів навчального матеріалу.

Розглянуто тестовий програмний продукт, що дозволяє автоматизовано визначати множину ключових семантичних термінів за даною інформаційною технологією. Проведені дослідження підтвердили можливість ефективно формувати множини ключових семантичних термінів елементів навчальних матеріалів з середніми показниками точності пошуку до 73,2% та повноти пошуку до 69,7%. Аналіз отриманих результатів виявив, що відсутність програмно визначених термінів у множині автора не завжди характеризує недолік розглядуваної технології. Деякі семантично важливі терміни автори суб'єктивно ігнорують, в той час як іншу категорію складають поняття, на яких автори акцентують надмірну увагу попри їх другорядність в рамках матеріалу, що викладається.

Встановлена ефективність запропонованої інформаційної технології сприяє її використанню для розв'язання ряду актуальних задач, таких як оцінка відповідності навчальних матеріалів змістовим вимогам, оцінка відповідності наборів тестових завдань навчальним матеріалам, семантична допомога при створенні тестів, автоматизація формування рефератів та анотацій до елементів навчальних матеріалів тощо.

Література

1. Нові інформаційні технології в освіті [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://it-tehnolog.com/statti/novi-informatsiyni-tehnologiyi-navchannya/>.
2. Moodle – Open-source learning platform [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://moodle.org/>
3. Мазурець О. В. Онтологічний підхід до побудови семантичної моделі навчальних матеріалів / О.В. Мазурець // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2017. – № 6. – С. 223–229.
4. Human Language Technology Sector of the Information Society Technologies (IST) Programme [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.linglink.lu>.
5. SEO-аналізатор «Адвего» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://advego.ru/text/seo/>.
6. Семантичний онлайн-аналізатор тексту «Seozor» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://seozor.ru/tools/analyzer.php>.
7. Ventura J. New Techniques for Relevant Word Ranking and Extraction / J. Ventura, J. Silva // Proceedings of the artificial intelligence 13th Portuguese conference on Progress in artificial intelligence, EPIA'07. – Berlin : Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007. – P. 691–702.
8. Ландэ Д. В. Компактифицированный горизонтальный граф видимости для сети слов / Д. В. Ландэ, А. А. Снарский // Труды Международной научной конференции «Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2013. Знания и рассуждения». – Киев : КПИ, 2013. – С. 158–164.
9. Бармак О. В. Методи автоматизації визначення семантичних термінів у навчальних матеріалах / О.В. Бармак, О. В. Мазурець // Вісник Хмельницького національного університету. Сер.: Технічні науки. – 2015. – № 2(223). – С. 209–213.

10. Мазурець О. В. Використання спеціалізованих програмних розширень для автоматизації роботи з цифровими документами навчальних матеріалів / О. В. Мазурець, О. В. Ковальчук, В. О. Слободзян // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2018. – № 1. – С. 61–69.

11. Ключові слова. iGroup Україна [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://igroup.com.ua/seo-articles/keywords/>

12. Manning C. Introduction to Information Retrieval / C. Manning, P. Raghavan, H. Schutze. – Cambridge University Press, 2008. – 482 p.

References

1. IT-TEHNOLOG (2018) New Information Technologies in Education. [Online] Available from: <http://it-tehnolog.com/statti/novi-informatsiyi-tehnologiyi-navchannya/> [Accessed: 15 February 2018]
2. MOODLE (2018) Moodle – Open-source learning platform. [Online] Available from: <https://moodle.org/> [Accessed: 15 February 2018]
3. MAZURETS, O. V. (2017) Ontological Approach to Building a Semantic Model of Educational Materials. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical Sciences, Issue 6, 2017 (255). p. 223-229.
4. LINGLINK.LU (2018) Human Language Technology Sector of the Information Society Technologies (IST) Programme. [Online] Available from: <http://www.linglink.lu> [Accessed: 15 February 2018]
5. ADVEGO (2018) SEO-analyzer “Advego”. [Online] Available from: <http://advego.ru/text/seo/> [Accessed: 15 February 2018]
6. SEOZOR (2018) Semantic online-analyzer of texts “Seozor”. [Online] Available from: <http://seozor.ru/tools/analyzer.php> [Accessed: 15 February 2018]
7. VENTURA, J. & SILVA, J. (2007). New Techniques for Relevant Word Ranking and Extraction. In Proceedings of 13th Portuguese Conference on Artificial Intelligence, Springer-Verlag, p. 691-702.
8. LANDE, D. V. & SNARSKIY, A. A. (2013) Kompaktificirovanniy Gorizontalnyy Graf Vidimosti dlya Seti Slov / D.V. Lande, A. Snarskiy // Trudi Mejdunarodnoy Nauchnoy Konferencii «Intelktualnyy Analiz Informacii IAI-2013. Znania I Rassujdenia». p 158-164.
9. BARMAK, O. V. & MAZURETS, O. V. (2015) Methods of Automation of Definition of Semantic Terms in Educational Materials // Herald of Khmelnytskyi national university. Technical Sciences, Issue 2, 2015 (223). p. 209-213.
10. MAZURETS, O. V., KOVALCHYK, O. V. & SLOBODZIAN, V. O. (2018) Using specialized software packages for automation of work with digital documents of educational materials // Herald of Khmelnytskyi national university. Technical Sciences, Issue 1, 2018 (257). p. 61-69.
11. IGROUP UKRAINE (2018) Keywords. [Online] Available from: <http://igroup.com.ua/seo-articles/keywords/> [Accessed: 15 February 2018]
12. MANNING, C., RAGHAVAN, P. & SCHUTZE, H. (2008) Introduction to Information Retrieval. Cambridge University Press.

Рецензія/Peer review : 21.03.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

АНАЛІЗ СТРУКТУРНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЗОРОВОГО КАНАЛУ СПРИЙНЯТТЯ ЛЮДИНИ

У статті проведений аналітичний огляд сучасних типових моделей, особливостей функціонування елементів та структур у цілому зорового каналу сприйняття людини.

Ключові слова: модель зорового каналу, модель органу зору, модель сітківки, модель системи зору.

A.V. SNIGUR

Vinnytsia National Technical University

ANALYSIS OF STRUCTURAL ORGANIZATION AND FEATURES OF THE FUNCTIONING ELEMENTS OF THE VISUAL CHANNEL OF HUMAN PERCEPTION

In the article an analytical review of modern typical models, features of the functioning of elements and structures in the whole of the visual channel of human perception is carried out. On the basis of the analysis, the classification and generalization of existing structures of said human channel was carried out. In this case, single-channel, multichannel models, as a separate organ of vision, and the whole visual system as a whole, are defined. On the basis of the conducted classification, the structure of the visual channel of a human is generalized taking into account its real structure, and also the recommendations for analyzing the stages of information processing in the elements of the channel are formed. Modern structures of the visual channel of human perception, some of its elements are usually built on the basis of various kinds of anatomical research and their mathematical, structural modelling or based on the needs of using the parameters of a particular object of perception. Despite the above typical models, the analysis of the process of functioning of individual elements, the entire visual channel in general, the stages of information processing can be considered insufficiently investigated. Analysis of these stages should be carried out on the basis of the definition: input data for each of the structural elements of the channel; elemental elements that process visual information; results of information processing in elementary elements; results of information processing in structural elements. Taking into account the actual composition of the channel provides an opportunity for further adequate creation and effective application of methods and means of improving the perception of visual information.

Keywords: visual channel model, visual organ model, retinal model, visual analyzer model, visual system model.

Вступ

Сучасні типові моделі та структури зорового каналу сприйняття людини, деяких його елементів, як правило, побудовані на основі проведених різного роду анатомічних досліджень та їх математичного, структурного моделювання [1–11] або виходячи з потреб використання параметрів певного об'єкта сприйняття (ОС), наприклад його кольору [12], яскравості [13], розміру [14], або на основі окремих особливостей функціонування органу зору, зокрема сітківки ока [16]. При цьому розглядаються як одноканальні моделі органу зору [12, 14], всієї системи зору [13], так і багатоканальні [15, 16] в основному без урахування реальних анатомічних структур, що беруть участь в обробці відповідних сигналів та сприйнятті ОС.

Не зважаючи на зазначені вище типові моделі, недостатньо дослідженням можна вважати питання аналізу процесу функціонування окремих елементів, всього зорового каналу у цілому, етапів обробки інформації у зазначених елементах з урахуванням анатомічних структур, що здійснюють таку обробку. Це не дає можливості для адекватного подальшого створення та ефективного застосування різного роду методів та засобів оцінювання [17, 18] та покращення сприйняття людиною зорової інформації, які б узгоджувалися з реальними особливостями відповідного каналу сприйняття.

Постановка задачі досліджень

Метою дослідження є аналіз особливостей побудови та функціонування окремих елементів зорового каналу сприйняття, а також класифікація та узагальнення існуючих структур всього каналу в цілому з урахуванням його реальної складу, роботи відповідної системи людини для подальшого адекватного створення та ефективного застосування методів покращення сприйняття зорової інформації.

Задачами досліджень є:

- аналіз особливостей структури та функціонування окремих елементів зорового каналу людини на основі їх реальної будови та роботи у складі зорової системи;
- класифікація та узагальнення існуючих структур, а також моделей зорового каналу;
- формування рекомендацій щодо аналізу етапів обробки інформації у структурних елементах каналу.

Основна частина

Сприйняття інформації про певний об'єкт, подію, текстовий матеріал тощо у зоровому каналі починається з потрапляння у поле зору людини відповідного такого ОС. Розглянемо відносно узагальнену анатомічну структуру та деякі характеристики зазначеного каналу, що впливають на отримання зорової інформації. Першим його структурним елементом є сітківка, що, у свою чергу, також складається з певних елементів. Після сітківки інформація від ОС потрапляє на інші складові каналу відповідно до рис. 1 [1].



Рис. 1. Загальна структура зорового каналу сприйняття та зв'язків БО зорової інформації

При цьому обробка інформації здійснюється у ділянках або блоках обробки (БО): V1, V2, V3, V4, TF, TEO, TE, T, MT, V3A, PO, T та інших [2]. Зв'язки основних БО на рис. 1 позначені неперервними лініями, периферичних – пунктирними.

Розглянемо більш детально будову та моделі основних елементів зорового каналу сприйняття, а також поняття, що при цьому використовуються. Першим із елементів каналу відповідно до розглянутої вище структури можна вважати сітківку. Вона складається з [1]: фоторецепторного прошарку, до якого входять палички та колбочки; проміжних клітинних прошарків, до яких входять біполярні, горизонтальні та амакринові клітини; прошарку гангліозних клітин. ОС за допомогою оптичної системи ока відображається на сітківці у перевернутому вигляді [3], що представлено на рис. 2. При цьому ліва половина ОС проектується на праву половину цього елемента каналу, а права – на ліву.

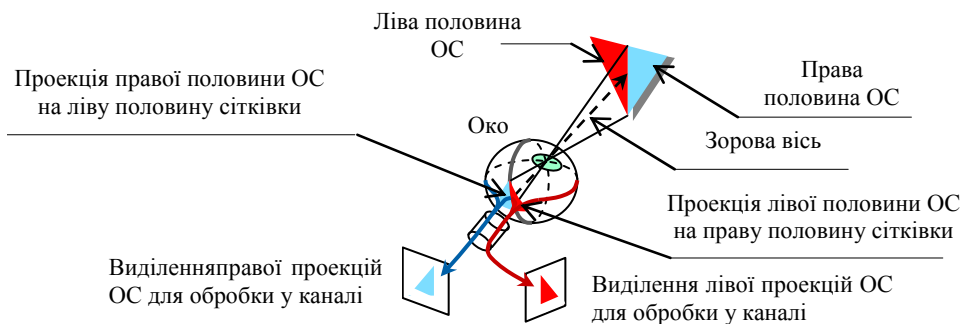


Рис. 2. Узагальнена схема відображення ОС на сітківці

Першою групою елементів сітківки, що сприймає ОС є фоторецептори. Це своєрідні давачі-рецептори – так звані “палички” та три види “колбочок”, що чергуються між собою та розташовуються один біля одного у вигляді мозаїки [1]. При цьому модель фрагменту сітківки у так званій фовеальній ділянці (ділянці із максимальною чіткістю сприйняття) може бути представлена у вигляді [4] (рис. 3). Тут різні види

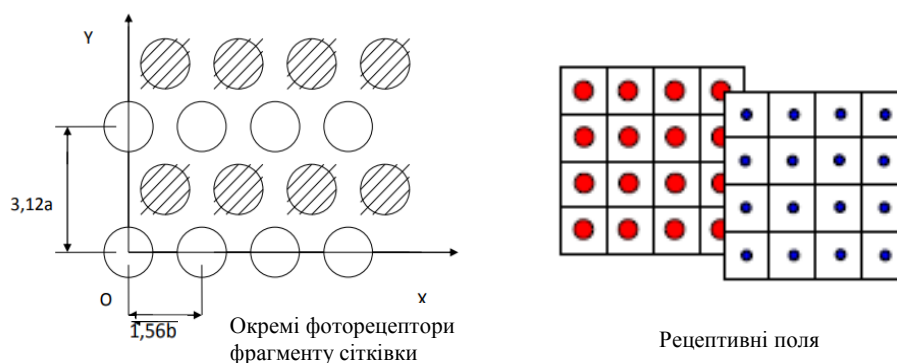


Рис. 3. Моделі фрагменту сітківки у фовеальній ділянці та рецептивних полів

рецепторів зображені у вигляді заштрихованих та не заштрихованих кіл; x , y – вісі координат; b – розмір рецептора по горизонталі; a – розмір рецептора по вертикалі; певні групи рецепторів – рецептивні поля зображені так, як наприклад у [5], а саме у вигляді сукупностей великих квадратів із точками в середині. Отже різні групи фоторецепторів разом із певними клітинами зазначеного вище проміжного клітинного прошарку формують елементарні структури сприйняття. Для сітківки цими елементарними структурами є так звані поля рецепторів гангліозних клітин (рецептивні поля) [1]. Тільки в цих клітинах

формуються електричні сигнали, що йдуть далі до центральної нервової системи [1]. Тобто в них формуються сигнали, що несуть інформацію про ОС і передаються далі по каналу сприйняття. На рис. 3 один великий квадрат із певною кількістю точок всередині – рецептивне поле гангліозної клітини.

Як правило розглядають два типи зазначених вище гангліозних клітин та перекриття їх рецептивних полів, що можна зображати також у вигляді моделей [1], представлених на рисунку 4. Перший тип клітин з оп-центром їх рецептивного поля збільшує свою електричну активність (позначається знаком “+”) при впливі світла у центр зазначеного поля та зменшує свою електричну активність (позначається “-”) при впливі світла на периферію. Другий тип з off-центром змінює свою електричну активність навпаки порівняно із першим типом. Рецептивні поля сусідніх гангліозних клітин можуть перекриватися між собою. Таким чином первинний сигнал про ОС формується певною первинною структурою сприйняття, що складається з поля рецепторів гангліозної клітини та безпосередньо самої гангліозної клітини.

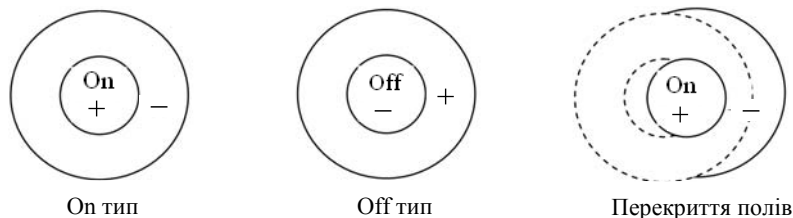


Рис. 4. Моделі різних типів полів гангліозних клітин та перекриття їх полів

Описані вище елементи сітківки є першою ланкою у сприйнятті зображення людиною. Наприклад, якщо ОС є вертикальна світла лінія [6], то вона відображається на сітківці у вигляді сукупності рецептивних полів з оп-центрами (рис. 5). При цьому варто зазначити, що оп-центри, які відображають лінію будуть охоплені ділянками “-” із зниженою електричною активністю. Розглянемо також як відображаються наприклад окремі символи тексту (рис. 5), зокрема точки Р та Р' на сітківці, розташовані під кутами р та р' від лінії OF. В даному випадку сітківка може бути представляється у вигляді моделі [7] із зазначеними точками. Вона вважається неоднорідною монохромного колбочкового зору в межах 80 кутових градусів. При побудові моделі з настільки великим кутом зору зважається на те, що поверхня сітківки не плоска, а близька до внутрішньої поверхні сферичного сегмента із центром у точці F.



Рис. 5. Моделі проекції ліній на рецептивні поля та точок на сітківку

Наступною структурою, що сприймає зорову інформацію є зовнішнє колінчате тіло (ЗКТ) [1]. Ліві половини обох сітківок проектується повністю у відповідні прошарки лівої частини ЗКТ, а праві половини – у відповідні прошарки правої частини ЗКТ. Будь-який ОС, наприклад точковий, що відображається на сітківці має, у свою чергу, точкове багаторазове відображення у відповідних прошарках ЗКТ (рис. 6). ЗКТ має свої елементарні структури сприйняття або рецептивні поля [8,9]. Вони відповідають аналогічним структурам сітківки з тою різницею, що оп-елементи ще більше відокремлені від off-елементів. Це дозволяє відрізнити ще точніше дифузне освітлення сітківки від чітких контурів ОС. Також вказані поля мають свої особливості відповідей на кольорові стимули. У ЗКТ є лінійні поля, а у першому та другому прошарках є змішаний оп-off тип полів. Ділянка, що простягається поперек всіх слоїв ЗКТ та відповідає його рецептивним полям називається проекційною колонкою. Призначення ЗКТ повністю достеменно невідоме. Вважається, що дана структура організує зорову інформацію, дозволяє чіткіше визначати контури ОС, а також визначає рівень емоційного задоволення від стимулів, що отримує людина в тому числі і від ОС та на основі цього модулює процес обробки зорової інформації з їх активацією.

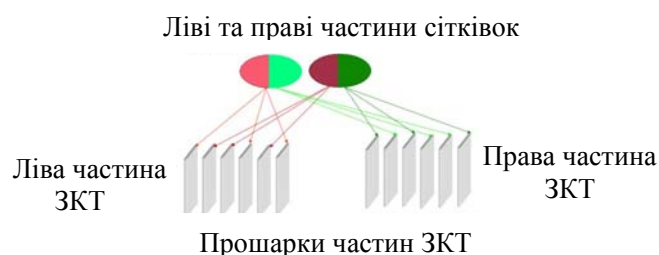


Рис. 6. Схематичне узагальнене зображення проекцій лівої та правої частин сітківки на ЗКТ

Після ЗКТ інформація від ОС потрапляє далі на стріарну або первинну зорову кору відповідно до структури на рис. 1. Її також називають зоровою зоною V1 або полем 17 за Бродманом. Рецептивні поля зорової кори [10] складаються з певної кількості концентричних рецептивних полів попереднього елементу зорового каналу та мають майже прямокутну форму із центральною оп або off зонами (рис. 7). Вони реагують на певну орієнтацію світлої або темної полоси, країв полоси тощо. У цьому елементі каналу ОС має своє відображення. Так наприклад відрізок прямої, що розташований у лівій частині поля зору лівого ока (коли праве око закрите) у моделі фрагменту кори [1] відображається у вигляді активності певної сукупності зон, що позначені на рисунку 8 більш темним кольором та обведені прямокутником. Ці зони розташовані відповідно до загальної проекції поля зору на кору у місцях проекції, у свою чергу, відповідної активності лівого ока – колонках очної домінантності лівого (позначено Л.) ока. У колонках домінантності правого ока (позначено ПР.) в даному випадку активності немає у зв'язку із тим, що лінія спостерігається тільки лівим оком. При цьому у колонках лівого ока активні тільки ті фрагменти колонок – так звані орієнтаційні колонки, що відповідають за орієнтацію у просторі зазначеного відрізка.



Рис. 7. Формування рецептивного поля стріарної кори на основі концентричних рецептивних полів

Розглянемо також модель фрагмента первинної зорової кори [11] із відображенням у ньому лінії, що зображена під кутом α на рисунку 9. Тут зазначена спрощена порівняно із попередньою модель представлена сукупністю суміжних клітин K_i , на які проектується і які сприймають ОС – лінію, розташовану під певним кутом; x, y – вісі координат; r – відстань від початку системи координат до K_i . У [11] також визначено, що при розташуванні тексту, наприклад, під кутом 165° (рис. 9) він може краще сприйматися певними клітинами даного елементу зорового каналу. При цьому оптимальною висотою стрічок можна вважати 11 пікселів.

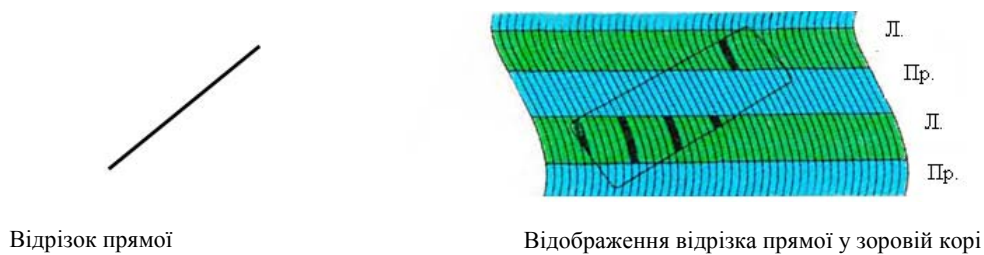


Рис. 8. Модель фрагмента стріарної кори із активними зонами, що відображають певний відрізок прямої

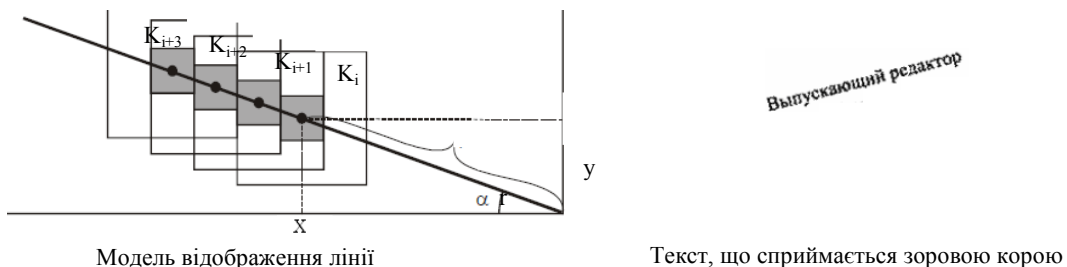


Рис. 9. Спрощена модель фрагмента первинної зорової кори, що сприймає лінію та певний текст

Розглянемо моделі всієї первинної зорової кори у цілому із відображенням у ній точок P та P' , які розташовані на сітківці (рис.5) та певних літер тексту. Отже, зорову кору представлено у вигляді моделей (рис. 10) [7]. При цьому зазначені точки P та P' проектується у точки Q та Q' зорової кори, а точка Q розташована на відстані t від краю кори. Літери тексту також мають своє відповідне відображення.

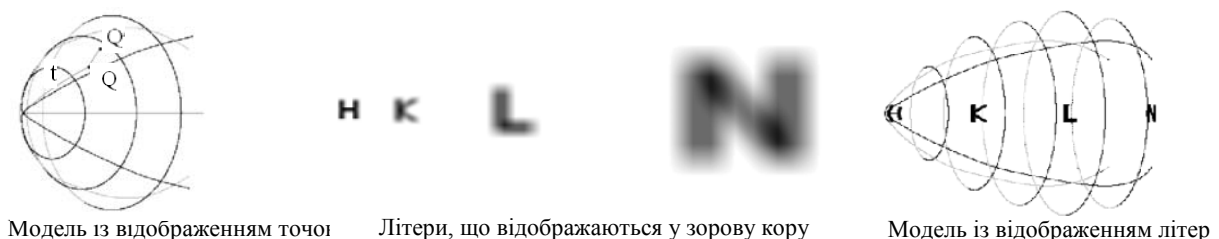


Рис. 10. Моделі первинної зорової кори із відображенням у ній точок та літер тексту

Після первинної зорової кори інформація про ОС потрапляє далі у вторинну зорову кору, потім у третинну, що відповідають полям 18 та 19 за Бродманом (а потім у інші зони) [8]. У ці ділянки надходять вторинні зорові сигнали для аналізу їх значення. Поле Бродмана 18 називають зоровою областю П, або просто V2. Інші більш віддалені області мають специфічні назви V3, V4 і т. д. (загалом порядка 30). Їх значення полягає у поступовому виявленні та аналізі різних аспектів відображення ОС. Асоціативні коркові зони скроневої та потиличної ділянок, що прилягають до вторинної зорової кори також приймають участь у опрацюванні зорової інформації та трансформації її у зорові образи. Окремі БО можуть входити до трактів передачі зорової інформації, наприклад основних трактів: парвоцелюлярного (П) та магноцелюлярного (М) [8]. Так до складу П-тракту, що забезпечує сприйняття деталей, форми і кольору ОС, кольорову чутливість та високу контрастність входять: фоторецептори колбочки сітківки; прошарки 3-6 ЗКТ; прошарки 4С-бета, 2, 3 стріарної кори; поля V2, V4. До складу М-тракту, що аналізує рух ОС та забезпечує низьку контрастність входять: фоторецептори палочки; прошарки 1,2 ЗКТ; прошарки 4С-альфа, 4В; поля V2, V5.

Узагальнимо результати проведеного вище аналізу особливостей структури, функціонування елементів каналу сприйняття, етапів обробки зорової інформації та занесемо їх до таблиці 1. Як видно із вказаної таблиці у відповідних БО поетапно опрацьовується така зорова інформація та внаслідок цього формується образ ОС.

Таблиця 1

Етапи обробки зорової інформації у структурних елементах каналу сприйняття

Структура	Результати етапу обробки зорової інформації	Елементи структури
Оптична система ока	Створює на сітківці перевернуте зображення ОС. При цьому зображення лівої частини зорової сцени проєктується на праву половину сітківки, а праві частини – на ліву.	Елементи оптичної системи.
Сітківка	Фоторецептори сітківки разом із іншими клітинами формують електричні сигнали, що несуть інформацію про ОС.	Рецептивні поля гангліозних клітин.
ЗКТ	Організує зорову інформацію, дозволяє чіткіше визначати контури ОС, а також визначає рівень емоційного задоволення від стимулів, що отримує людина в тому числі і від ОС.	Рецептивні поля із чіткішими активними та пасивними зонами. концентричної форми
Стріарна кора	Починає розшифровувати зорову інформацію.	Прямокутні поля.
Вторинні зорові ділянки	Визначення взаємного просторового розташування елементів ОС та інших аспектів зорового образу; збирання та упізнання зорового образу ОС на основі його елементарних деталей (наприклад ліній); сприйняття ОС, що рухається.	Складні структури.
Третинна зорова кора та асоціативні ділянки	Детекція самих складних зорових образів ОС, що пов'язано наприклад із читанням тексту; упізнанням облич; оцінюванням значення побаченого. Подальше опрацювання зорової інформації, трансформація її у зорові образи та виконання асоціативних функцій, пов'язаних із зоровим сприйняттям.	Складні структури.

Розглянемо типові структури та моделі всього зорового каналу людини, а також деяких окремих анатомічних БО зорової інформації, наприклад органу зору. Так при оцінюванні сприйняття людиною однокольорового зображення може використовуватись така модель органу зору (рис. 11) [12]. Тут 1 – оптична система ока, 2 – приймач з визначеною спектральною чутливістю, 3 – багатоканальний фільтр, 4 – генератор шумів, 5 – аналізатор, 6 – пристрій порівняння.

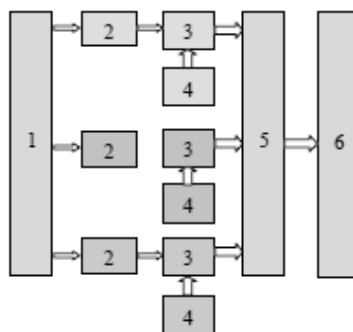


Рис. 11. Функціональна схема органу зору

Що стосується моделей та структур зорових каналів, то наприклад, при дослідженні впливу яскравості зображення на людину відповідна блок схема системи зору може бути представлена у вигляді рис. 12 [13]. Тут БЛ – блок логарифмування, ЛПФ – лінійний просторовий фільтр, НС – блок насичення.



Рис. 12. Блок-схема системи зору людини при дослідженні яскравості

При визначенні загалом особливостей зображення, що сприймається людиною може використовуватись така модель зорового аналізатора (рис. 13) [14]. Тут функція $F_{ex}(x, y, t, \lambda)$ з певними параметрами описує зображення (транспарант) у натуральну величину; $F_{ex}(x', y', t, \lambda)$ – описує зображення, що формується на сітківці ока; $F_{vix}(x', y', t, \lambda)$, $F_{vix}(x, y, t, \lambda)$ – функції, що описують зображення відповідно у мозку та у свідомості. При цьому тут вважається, що у свідомості зображення виникає у натуральну величину та суміщено з його відображенням у мозку.

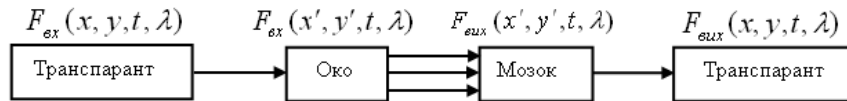


Рис. 13. Модель зорового аналізатора

Розглянуті вище моделі зорової системи та органу зору людини можна віднести до одноканальних, де загалом розглядаються особливості сприйняття зображення, що потрапляють на один зоровий аналізатор. В ході більш детального аналізу особливостей опрацювання у мозку образу ОС можуть також використовуватись багатоканальні моделі як всієї системи в цілому, так і окремо органу зору. Розглянемо їх. Так для імітаційного моделювання оцінки ефективності сприйняття зображень зі складним просторово-часовим розподілом яскравості може використовуватись відповідна багатоканальна функціональна спектральна просторово-часова модель каналів зорової системи [15], наведена на рис. 14. Тут $U_{вх}$ – вхідний сигнал від ОС; ЛНМ – лінійна нейронна мережа первинного відділу зорової системи; $\Phi_0 \dots \Phi_k$ – фільтри на приймальній стороні (первинній зоровій корі); $t_0, t_1, \dots, t_k$ – часи запізнення сигналів, що надходять на когерентний накопичувальний пристрій; S – сигнал; HS – перетворення Гільберта сигналу S ; K_v – квадратичний детектор; вихідні сигнали U_1 і U_2 формуються на виході інтеграторів $\int_1$ та $\int_2$, що мають різні постійні часу (для U_1 постійна часу дорівнює 14 мс, для U_2 – 80 мс). Вихідне зображення, що відповідає сигналу U_2 є продиференційованим зображенням $U_{вх}$.

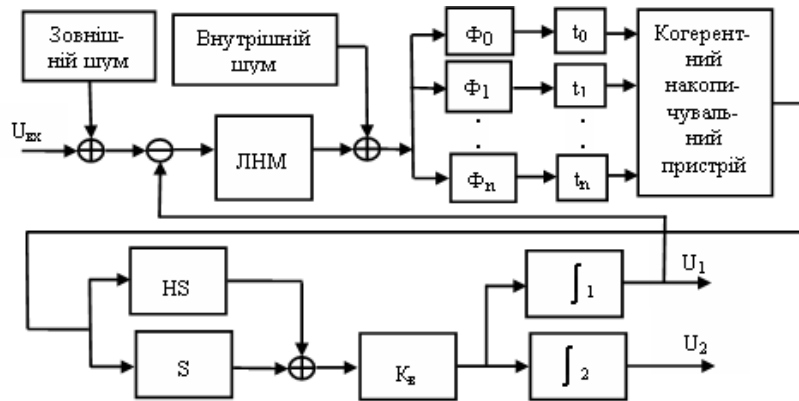


Рис. 14. Багатоканальна функціональна спектральна просторово-часова модель каналів зорової системи

Що стосується багатоканальних моделей саме органу зору, а не всієї системи, то у [16] запропонована лінійна багатоканальна модель зорового аналізатора, що характеризується набором відповідних вагових функцій $h_i (i = 1, 2, \dots, N)$. Ці функції задають відображення простору стимулів (в загальному випадку нескінченного) на кінцевий простір каналів. При цьому вагова функція лінійного каналу збігається з так званим рецептивним полем одного нейрона.

Узагальнимо результати проведеного вище аналізу та класифікуємо структури зорового каналу людини. Отже, залежно від того, які розглядаються функції, чи особливості роботи зорової системи можуть використовуватись різні моделі каналів сприйняття або окремо органу зору, а саме одноканальні та багатоканальні. При цьому практично всі існуючі моделі не відображають реальних анатомічних особливостей та наявних у зоровій системі БО зорової інформації.

Узагальнимо відповідні існуючі структури та побудуємо структуру зорового каналу з урахуванням того, що визначення окремих його елементів буде здійснюватися в першу чергу на основі аналізу роботи анатомічних БО зорової системи людини. Спочатку розглянемо вхідні ланцюги каналу (рис. 15), потім

модулі обробки зображень (МОЗ), один з яких представлений на рис. 16, блоки первинної та вторинної обробки зображень – БПОЗ та БВОЗ відповідно (рис. 17). Отже, світло від ОС, що знаходиться у полі

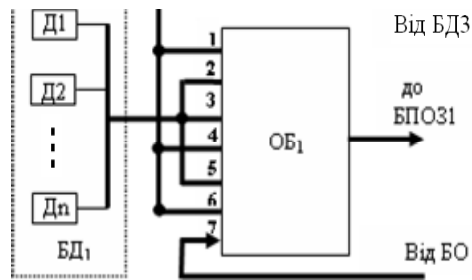


Рис. 15. Фрагмент структурної організації вхідних ланцюгів зорового каналу

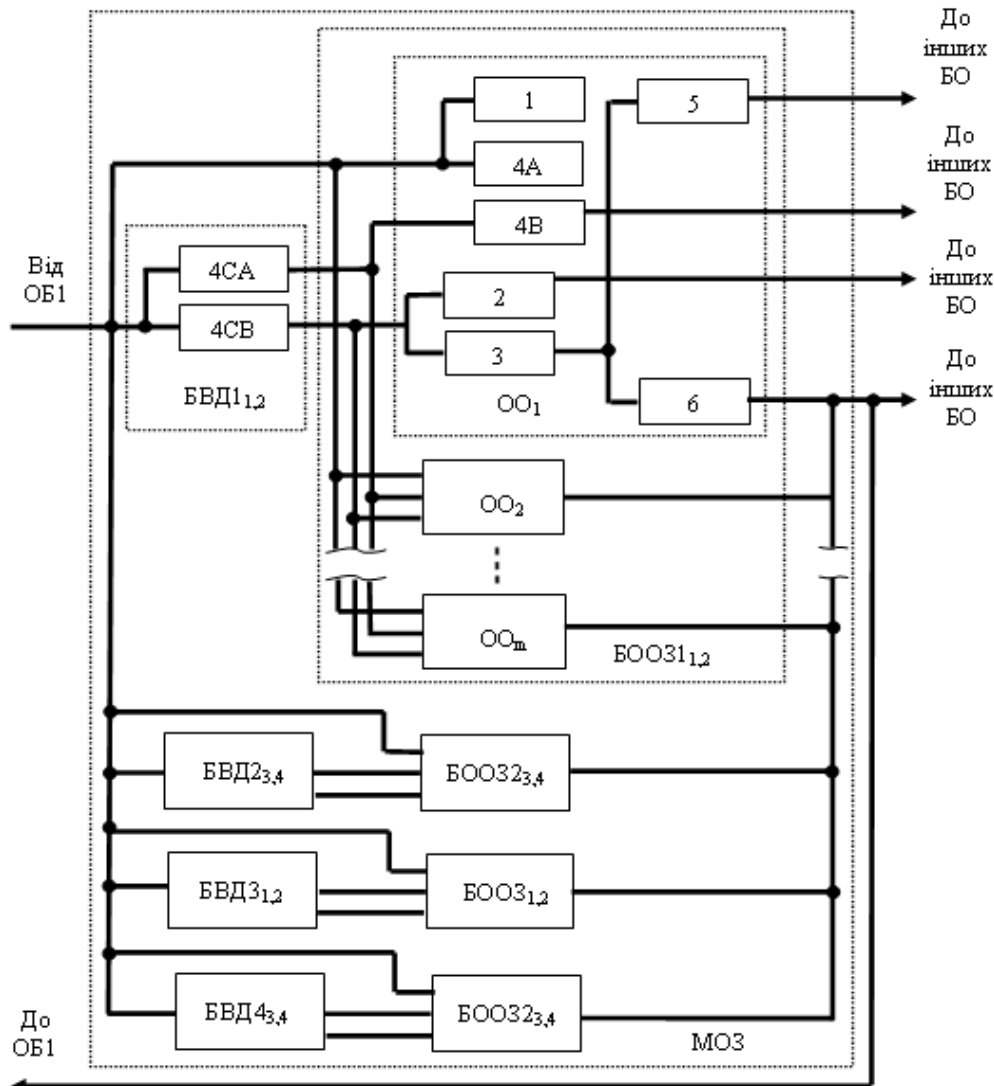


Рис. 16. Приклад структурної організації МОЗ

зору людини потрапляє на блоки давачів (БД) фоторецепторів $Д1 \dots Дn$ (де n – кількість здавачів), яким відповідають певні групи палочок та колбочок на сітківці ока [1]. Кожне з очей людини розділене на два таких БД, що відповідають правій та лівій частинам сітківки. Так сітківці правого ока відповідають блоки БД1 (права частина сітківки) та БД2 (ліва частина). Щодо лівого ока, то тут є аналогічна відповідність для блоків БД3 та БД4. Електричні сигнали з цих блоків, що формуються гангліозними клітинами [1] передаються по провідниках, а точніше шині, що відповідає сукупності волокон нервових клітин. Отже сигнали з різних БД по шині далі потрапляють на блоки об'єднання сигналів ОБ1 та ОБ2, що відповідають правому та лівому ЗКТ розташованим у двох півкулях мозку [1]. При цьому сигнали з правої та лівої частин сітківки кожного з очей потрапляють на різні 6 входів ОБ1 та ОБ2. Ці входи відповідають місцям під'єднання волокон нервових клітин до 6-ти анатомічних слоїв ЗКТ (рис. 15). Сигнали з виходів ОБ1 та ОБ2 потрапляють далі відповідно у 2 блоки первинної обробки зображень БПОЗ1 та БПОЗ2. Ці блоки відображають наступну анатомічну структуру на шляху проходження зорових сигналів у зоровій системі –

первинну зорову кору, яка розташована у кожній з 2-х півкуль мозку [1]. БПОЗ1, БПОЗ2 складаються з великої кількості так званих МОЗ, що відповідають анатомічним модулям первинної зорової кори [1].

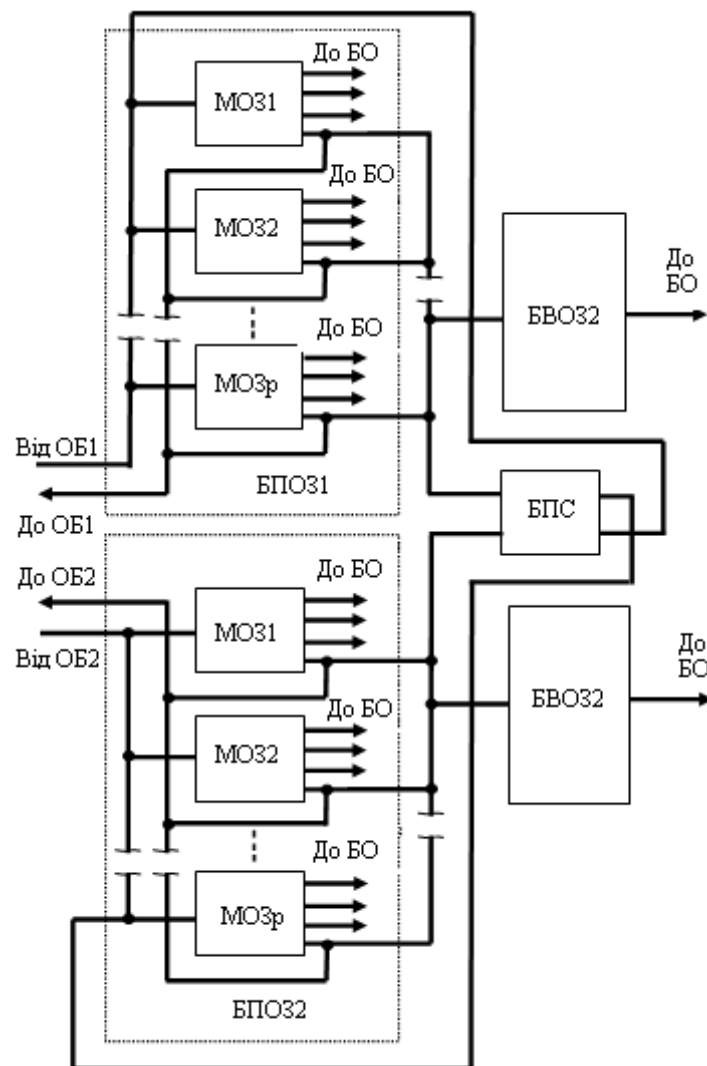


Рис. 17. Структура організація блоків первинної та вторинної обробки зорової інформації

Кожний МОЗ (рис. 16), загальною кількістю p у одній півкулі мозку, у свою чергу складається з 4-х блоків визначення сигналів з задавачів (ВД), а саме з двох ВД_{1,2}, та двох ВД_{3,4}, що відповідають 4-м колонкам очної домінантності підпрошарків $4C\alpha$ (позначимо $4CA$) та $4C\beta$ ($4CB$) прошарку 4 первинної зорової кори [1]. Так, у загальній структурі кори ВД_{1,2} визначає чи надходить сигнал з блоків БД1 та БД2, а ВД_{3,4} відповідно – з БД3 та БД4, де i, j – номери блоків. Залежно від того з яких БД надходить сигнал далі в обробку зображення включаються блоки обробки орієнтації зображень з блоків БД1 та БД2 – БООЗ_{1,2} або з БД3 та БД4 – БООЗ_{3,4}, де i, j – номери блоків. БООЗ_{1,2} та БООЗ_{3,4} складаються, у свою чергу, з елементарних блоків обробки орієнтації ОО1, ОО2, ..., ОО m , де m – кількість блоків. Вони визначають орієнтацію зображень двічі у межах від 0° до 180° з кроком у 10° , що припадає на один блок. Тобто кількість зазначених блоків є подвійною в кожному з ООЗ_{1,2} та ООЗ_{3,4} для визначення орієнтації від 0° до 180° . ОО1, ОО2, ..., ОО m відповідають множині анатомічних орієнтаційних колонок первинної зорової кори [1], що входять до складу одної колонки очної домінантності у межах модуля. Вказані блоки, у свою чергу, складаються з семи блоків: 1, 2, 3, 4А, 4В, 5, 6, що відповідають шести анатомічним прошаркам: 1, 2, 3, 4, 5, 6 та двом підпрошаркам прошарку 4 – 4А та 4В первинної зорової кори.

Сигнали, з виходів БПОЗ1 та БПОЗ2 потрапляють далі на блок перерозподілу сигналів (БПС), що відповідає анатомічній структурі – мозолистому тілу [1]. БПС направляє сигнали з виходу БПОЗ1 на вхід БПОЗ2, а з виходу БПОЗ2 на вхід БПОЗ1. Також сигнали з виходів БПОЗ1 та БПОЗ2 потрапляють далі у БВОЗ1 та БВОЗ2 (відповідають зоровому полю 18 або зоровій зоні 2 – вторинній зоровій корі у обох півкулях мозку), а потім у інші БО. Узагальнена структура зорового каналу сприйняття наведена на рис. 18.

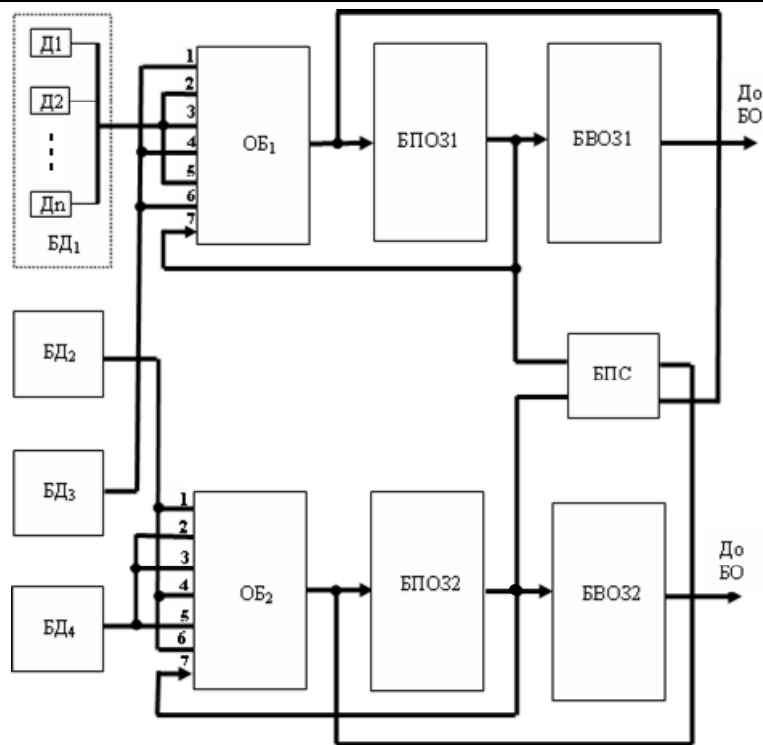


Рис. 18. Узагальнена структура зорового каналу сприйняття людини

На основі наведеної вище структури каналу та розглянутих особливостей функціонування його складових елементів сформуємо рекомендації щодо аналізу етапів обробки зорової інформації. Отже, такий аналіз необхідно здійснювати на основі визначення вхідних даних для кожного з структурних елементів каналу; елементарних елементів, що обробляють зорову інформацію у складі структурних елементів; результатів обробки інформації у елементарних елементах; результатів обробки інформації у структурних елементах. Врахування при цьому реального складу каналу надає можливість для подальшого адекватного створення та ефективного застосування методів та засобів покращення сприйняття зорової інформації.

Висновки

На основі проведеного аналізу структурної організації та особливостей функціонування елементів зорового каналу сприйняття людини здійснено:

- визначення етапів обробки зорової інформації у БО, що передбачають формування зображення ОС для подальшої його передачі по каналу; формування електричних сигналів, що несуть інформацію про ОС; об'єднання зорової інформації; поступове розшифрування такої інформації;
- класифікацію існуючих моделей структур органу зору та всього каналу у цілому, що визначає одноканальні та багатоканальні відповідні моделі.

В подальшому на основі отриманих результатів запропоновано рекомендації щодо аналізу етапів обробки зорової інформації та узагальнену структуру зорового каналу людини, що побудований, в першу чергу, з урахуванням наявності анатомічних БО відповідної інформації. При цьому зазначені рекомендації передбачають аналіз функціонування спочатку елементарних, а потім основних структурних елементів каналу, що в комплексі із запропонованою структурою надає можливість для подальшого відповідного адекватного створення та ефективного застосування методів та засобів покращення сприйняття зорової інформації.

Література

1. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение / Девид Хьюбел ; пер. с англ. / под ред. А. Л. Бызова. – М. : Мир, 1990. – 239 с.
2. Шульговский В. В. Основы нейрофизиологии : учебное пособие для студентов вузов / Шульговский В. В. – М. : Аспект Пресс, 2000. – 277 с.
3. Трофимов Е. А. Эргономика зрительного восприятия : монография / Трофимов Е.А. / под ред. проф. И. Г. Городецкого. – М. : АИР, 2013. – 192 с., ил.
4. Поликанин А.Н. Математическая модель пространственно-частотной передаточной функции фовеальной области человеческого глаза / А. Н. Поликанин // Сборник научных трудов аспирантов и молодых ученых Сибирской государственной геодезической академии. – Новосибирск : СГГА, 2004. – Вып. 1. – С. 111–116.
5. Утробин В. А. Модели организации поля рецепторов сетчатки глазного яблока / В. А. Утробин // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород. – НГТУ, 2010. – № 4 (83). – С. 62–69.

6. Демидов В. Е. Как мы видим то, что видим / Демидов В. Е. – М. : Знание, 1979. – 208 с.
7. Гладилин С. А. Компьютерная модель зрительной системы с кортикальным усилением / С. А. Гладилин // Информационные процессы. – 2005. – № 5. Том 5. – С. 414–425.
8. Віт В. В. Будова зорової системи людини. Навчальний посібник / Віт В. В. – Одеса : Астропринт, 2003. – 664 с.
9. Адам Д. Восприятие, сознание, память. Размышления биолога / Д. Адам ; пер. с англ. / под ред. и с предисл. Е. Н. Соколова. – М. : Мир, 1983. – 152 с.
10. Физиология человека. Compendium / [Ткаченко Б. И., Брин В. Б., Захаров Ю. М. и др.] ; / под ред. Б. И. Ткаченко. – [3-е изд.], – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2009. – 496 с.
11. Каргин А. А. Применение нечетких моделей когнитивных знаний восприятия изображения в задаче локализации строк текста / А. А. Каргин, Е. Е. Пятикоп // Искусственный интеллект. – 2009. – № 2. – С. 162–169.
12. Гвоздев С. М. Модель органа зрения для оценки восприятия одноцветного изображения / С. М. Гвоздев, Н. Д. Садовникова // Сборник научных трудов X Международной конференции «Прикладная оптика-2012». – Санкт-Петербург, 2012. – С. 240–244.
13. Титарь В.П. Основные положения голографической модели зрительной системы человека / В.П. Титарь, Т.В. Богданова // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Карабіна. Серія “Радіофізика та електроніка”. – 2014. – № 1115. – С. 73–78.
14. Тихомирова Г. В. Физические основы получения зрительной информации / Тихомирова Г. В. – СПб : Изд-во СПбГУКИ, 2005. – 146 с.
15. Ярмошевич Е. И. Функциональная спектральная пространственно-временная модель формирования изображений объектов зрительной системой человека / Е. И. Ярмошевич, Е. Е. Михайлова, М. А. Пономаренко // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2008. – № 1. – С. 74–78.
16. Дубровский В. Е. Многоканальные модели зрения / В. Е. Дубровский, А. В. Гарусев // Естественнo-научный подход в современной психологии : сборник научных трудов конференции. – М. : Институт психологии РАН, 2014. – С. 151–157.
17. Снігур А. В. Визначення часових параметрів процесу читання людиною текстових матеріалів / А. В. Снігур // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2016. – № 2 (235). – С. 74–79.
18. Mills C. B. & Weldon L. J. (1987). Reading test from computer screens. ACM Computing Surveys, 19(4), 329–358.

References

1. Hubel D. Eye, brain, vision / David Hubel; trans. with English / Ed. member. - Cor. Academy of Sciences of the USSR A. L. Byzova. - Moscow: Mir, 1990. - 239 p.
2. Shulgovsky VV Fundamentals of Neurophysiology. Textbook for university students / Shulgovsky VV - Moscow: Aspect Press, 2000. - 277 p.
3. Trofimov, EA Ergonomics of Visual Perception. Monograph. / Trofimov E.A. / Ed. prof. IG Gorodetsky. - Moscow: AIR, 2013. - 192 p.
4. Polikanin A.N. A mathematical model of the space-frequency transfer function of the foveal region of the human eye / AN Polikanin // Collected scientific works of graduate students and young scientists of the Siberian State Geodesic Academy. - Novosibirsk: SSGA, 2004. - Issue. 1. - P. 111 - 116.
5. VA Utrubin. Models of the organization of the retinal receptor field of the eyeball / VA Utrubin // Proceedings of the Novgorod University. R.E. Alekseeva. - N. Novgorod. - NSTU, 2010. - № 4 (83). - P. 62-69.
6. Demidov V. Ye. As we see what we see. / Demidov V. Ye. - M.: "Knowledge", 1979. - 208 p.
7. Gladilin SA Computer model of the visual system with cortical enhancement / SA Gladilin // Information processes. Volume 5. - 2005. - No. 5. - P. 414-425.
8. VIT V.V. Budova Zoro-sistemi people / VIT V.V. - Odessa: Astr., 2003. - 664 c.
9. Adam D. Perception, consciousness, memory. Reflections of the biologist / D. Adam; trans. with English. Ed. and with the pref. E. N. Sokolova. - Moscow: Mir, 1983. - 152 p.
10. Human physiology. Compendium / [Tkachenko BI, Brin VB, Zakharov Yu. M., etc.]; / Ed. B.I. Tkachenko. - [3rd ed.], - Moscow: GEOTAR-Media, 2009. - 496 p.
11. Kargin AA Application of fuzzy models of cognitive knowledge of image perception in the problem of localization of lines of text / AA Kargin, EE Pyatikop // "Artificial Intelligence". - 2009. - №2. - pp. 162 - 169.
12. Gvozdev SM, Sadovnikova ND Model of the organ of vision for assessing the perception of a monochrome image / SM Gvozdev, ND Sadovnikova // Collected scientific papers of the X International Conference "Applied Optics-2012". - St. Petersburg, 2012. - P. 240 - 244.
13. Titar V.P. Basic provisions of the holographic model of the human visual system / V.P. Titan, T.B. Bogdanova // News of Kharkiv National University of Science and Technology V.N. The carabine. Серія "Радіофізика та електроніка". - 2014. - No. 1115. - P. 73-78.
14. Tikhomirova GV The physical basis for obtaining visual information / Tikhomirova GV - SPb.: Publishing house SPbGUKiT, 2005. - 146 p.
15. Ermoshevich EI Functional spectral space-time model of image formation of objects by the human visual system / EI Yarmoshevich, EE Mikhailova, MA Ponomarenko // Vestnik VSU, series: System analysis and information technologies. - 2008. - No. 1. - C. 74 - 78.
16. Dubrovsky VE Multichannel vision models / VE Dubrovsky, AV Garusev // Proceedings of the conference "The Natural Science Approach in Contemporary Psychologists". - M: Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences, 2014. - C. 151-157.
17. Snigur A. V. Vyznachennya chasovikh parametri in the process of reading the human textual material / A.V. Snigur // News of the Khmelnytsky National University. Technical sciences. - Khmelnytsky: KhNU, 2016. - No. 2 (235). - P. 74 - 79.
18. Mills C. B. & Weldon L. J. (1987). Reading test from computer screens. ACM Computing Surveys, 19 (4), 329-358.

Рецензія/Peer review : 06.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 20.05.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Перевозніков С. І.

Ю.Н. ШМЕЛЕВ, С.И. ВЛАДОВ, С.Н. БОЙКО, Я.Р. КЛИМОВА

Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета

С.Я. ВИШНЕВСКИЙ

Винницкий национальный технический университет

ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВЕРТОЛЕТА МИ-8МТВ ПРИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ В РЕАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Эксплуатация авиационной техники, в том числе, и вертолета Ми-8МТВ, происходит при непрерывном изменении технического состояния узлов, агрегатов и деталей вследствие неизбежных процессов старения (изнашивания, усталостных явлений, коррозии и т.д.), что характеризуется постоянным изменением их свойств в целом в сторону ухудшения. Это происходит под действием внутренних и внешних факторов, имеющих либо достаточно строгий детерминированный, либо случайный непредсказуемый характер проявления [1]. При достижении критического значения величины ухудшения свойств наступает отказ, при котором изделие прекращает частично или полностью выполнять свои основные функции. Жесткие требования по поддержанию высокого уровня безопасности полетов и наличие значительных факторов опасности обуславливают необходимость более точного и своевременного обнаружения скрытых категорий предотказных состояний авиационной техники, основой которого являются непосредственное наблюдение, регистрация и контроль изменения диагностических признаков технического состояния объекта [2, 3]. Авиационный двигатель как объект контроля характеризуется возможностью перехода от наблюдаемых признаков к уровню скрытых категорий с использованием различных методов диагностирования при наличии определенных закономерностей изменения его технического состояния. Большое внимание уделялось методам диагностики авиационной техники с позиции информативности и информационному обеспечению процессов её диагностирования.

В целях более точного определения технического состояния авиационного двигателя, в том числе и двигателя вертолета Ми-8МТВ, требуется проведение дополнительного теста для выявления в работе авиационного двигателя различных проявлений [4, 5].

Ключевые слова: моделирование, техническое состояние, вертолет Ми-8МТВ, информационно-диагностическая система, реальные режимы работы, безопасность полетов, авиационный двигатель.

YU.N. SHMELEV, S.I. VLADOV, S.N. BOYKO, Y.R. KLIMOVA

Kremenchuk Flight College of the National Aviation University

S.YA. VISHNEVSKY

Vinnytsia National Technical University

INFORMATION AND DIAGNOSTIC SYSTEM OF THE STATE OF THE MI-8MTV HELICOPTER AT ITS OPERATION IN REAL OPERATION MODES

The operation of aviation equipment, including the Mi-8MTV helicopter, occurs with a continuous change in the technical condition of units, aggregates and parts due to the inevitable aging processes (wear, fatigue, corrosion, etc.), which is characterized by a constant change in their properties in generally in the direction of deterioration. This happens under the influence of internal and external factors, which either have a sufficiently strict deterministic or random unpredictable character of manifestation [1].

When the critical value of the deterioration of properties is reached, a failure occurs when the product stops partially or completely fulfilling its basic functions.

Strict requirements to maintain a high level of safety and the presence of significant hazards cause the need for more accurate and timely detection of hidden categories of predicamental conditions of aviation equipment, the basis of which is the direct observation, registration and monitoring of changes in diagnostic features of the technical state of the facility.

The aircraft engine as an object of control is characterized by the possibility of transition from the observed characteristics to the level of hidden categories using various diagnostic methods in the presence of certain regularities of the change in its technical state. Much attention was paid to methods of aircraft engineering diagnostics from the point of informativeness and information support of the processes of its diagnosis.

In order to more accurately determine the technical state of the aircraft engine, including the engine of the Mi-8MTV helicopter, an additional test is required to detect various manifestations in the operation of the aircraft engine [4, 5].

Key words: modeling, technical condition, Mi-8MTV helicopter, information-diagnostic system, real operating modes, flight safety, aircraft engine.

Анализ последних исследований и публикаций.

В настоящее время проблематикой информационной диагностики авиационной техники активно занимаются ученые Московского государственного технического университета гражданской авиации (МГТУ ГА), среди которых стоит выделить работы профессора Машошина О. Ф. [1–7], в которых применимы различные методики определения неисправностей авиационной техники, в том числе, и авиационных двигателей. Однако, в данных работах не рассмотрен вопрос разработки диагностической системы, которая позволяла бы, основываясь на полученных критериях информативности тех или иных признаков, которая в режиме реального времени определяла бы реальное состояние двигателя и, при необходимости возвращала бы его в рабочее состояние, а не давала бы перейти в режим авторотации.

Постановка задачи

Целью работы является разработка диагностической составляющей системы управления двигателя вертолета Ми-8МТВ, которая будет учитывать основные технические и эксплуатационные характеристики двигателя вертолета Ми-8МТВ, с целью своевременного обнаружения неисправности в текущих условиях работы и предотвращения их.

Материал и результаты исследований

Известно, что турбовальный двигатель ТВЗ-177, который установлен на вертолете Ми-8МТВ, имеет датчики, основные из которых – датчик частоты вращения ротора турбокомпрессора, датчик давления масла, датчик давления топлива, систему датчиков температуры. Опираясь на значения, полученных с указанных датчиков, можно определить техническое состояние двигателя при различных режимах его работы. С этой целью в программном пакете MatLAB разработана диагностическая составляющая системы управления двигателем (рис. 1). При выходе из строя какого-либо датчика, отвечающего за тот или иной показатель двигателя, система управления вертолетом определяет это состояние как аварийный режим работы, что приводит к аварийному отключению двигателя и переход в режим авторотации.

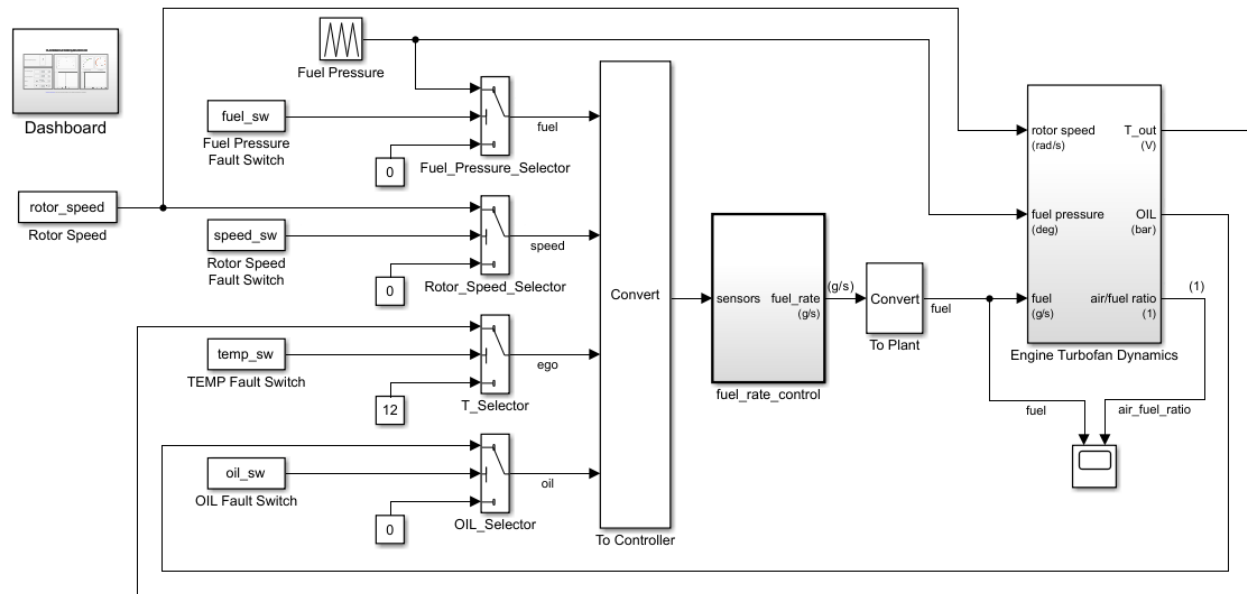


Рис. 1. система управления двигателем

В разработанную систему входит четыре датчика: Fuel Pressure Fault Switc – датчик давления топлива; Rotor Speed Fault Switch – датчик частоты вращения ротора турбокомпрессора; TEMP Fault Switch – датчик температуры. OIL Fault Switch – датчик давления масла.

Разработанная система имеет определенную совокупность диагностических признаков $K_1, K_2, \dots, K_{n0}$, которые характеризуют возможные состояния двигателя вертолета, который в произвольный момент может находиться либо в исправном состоянии D_0 с вероятностью P_0 , либо в любом из отказных состояний $D_1, D_2, \dots, D_r$ с соответствующими вероятностями в случае отказа одного или нескольких датчиков. Влияния отказов различных элементов двигателя осуществляется с помощью матрицы состояний $W = \|W_{ij}\|_{n_0(r+1)}$, число строк которой равно общему количеству признаков, а число столбцов – количеству возможных состояний двигателя, при этом $W_{ij} = 1$, если параметр d_k принимает допустимые значения состояния D_j и $W_{ij} = 0$ – в противном случае. Поэтому в работе ставится задача выбора такого ограниченного набора из N признаков диагностирования, с помощью которых дается приемлемое количество информации о состояниях двигателя вертолета Ми-8МТВ [6, С. 104–106].

Для решения поставленной задачи распространенным является метод, описанный в [7].

Полная информационная энтропия К. Шеннона определяется по формуле [8]:

$$H_0 = -\sum_{j=0}^r P(D_j) \ln P(D_j); \quad (1)$$

Регистрация каждой реализации признака снижает энтропию, поскольку несет информацию о состоянии двигателя. Среднюю условную энтропию после регистрации можно определить по формуле:

$$H_i(d_{K_i}) = P(d_{K_i}) H(d_{K_i}) + P(\bar{d}_{K_i}) H(\bar{d}_{K_i}); \quad (2)$$

где $P(d_{K_i})$ и $P(\bar{d}_{K_i})$ – соответственно вероятности получения результатов при нормальном состоянии двигателя и при текущем, то есть при наличии отказа; $H(d_{K_i})$ и $H(\bar{d}_{K_i})$ – соответствующие данным результатам условные энтропии. Используя матрицу состояний, $P(d_{K_i})$ и $P(\bar{d}_{K_i})$ вычисляются

по формулам:

$$P(d_{K_i}) = \sum_{j \in \Omega_i} P(D_j); \quad (3)$$

$$P(\bar{d}_{K_i}) = \sum_{j \in \Omega_i} P(D_j); \quad (4)$$

где $\Omega_i = [j : W_{ij} = 0]$ – множество индексов, составленное из номеров столбцов j , имеющих символы 0 на пересечении с i -ой строкой матрицы W . Энтропия состояния двигателя после проведения диагностирования по признаку рассчитывается по формуле:

$$H(d_{K_i}) = - \sum_{j \in \Omega_i} P\left(\frac{D_j}{K_i}\right) \ln P\left(\frac{D_j}{K_i}\right); \quad (5)$$

$$H(\bar{d}_{K_i}) = - \sum_{j \in \Omega_i} P\left(\frac{D_j}{\bar{K}_i}\right) \ln P\left(\frac{D_j}{\bar{K}_i}\right); \quad (6)$$

где $\sum_{j \in \Omega_i} P\left(\frac{D_j}{K_i}\right)$ и $\sum_{j \in \Omega_i} P\left(\frac{D_j}{\bar{K}_i}\right)$ – условные вероятности, соответствующие различным результатам диагностирования по признаку K_i , которые определяются по формулам Байеса [8]:

$$P\left(\frac{D_j}{K_i}\right) = \frac{P(D_j)}{\sum_{j \in \Omega_i} P(D_j)}; \quad (7)$$

$$P\left(\frac{D_j}{\bar{K}_i}\right) = \frac{P(D_j)}{\sum_{j \in \Omega_i} P(D_j)}. \quad (8)$$

Подставляя (5), (7) в (2), находим количество информации, полученное в результате диагностирования двигателя по признаку K_i :

$$I_i(K_i) = H_0 - H_i(K_i). \quad (9)$$

Выполнив аналогичные расчеты для всех конкурирующих признаков K_i ($i = 1, 2, \dots, n_0$), нетрудно выбрать признак с максимально полезной информацией, контроль которого должен осуществляться в первую очередь.

Следующим по порядку проверяется признак K_m , обеспечивающий максимум условной информации относительно нового состояния объекта с энтропией H_{il} и т.д. Таким образом, условная

энтропия $H_{il}\left(\frac{K_i}{K_l}\right)$ будет равна:

$$H_{il}\left(\frac{K_i}{K_l}\right) = P\left(\frac{K_i}{K_l}\right) H\left(\frac{K_i}{K_l}\right) + P\left(\frac{\bar{K}_i}{K_l}\right) H\left(\frac{\bar{K}_i}{K_l}\right) + P\left(\frac{K_i}{\bar{K}_l}\right) H\left(\frac{K_i}{\bar{K}_l}\right) + P\left(\frac{\bar{K}_i}{\bar{K}_l}\right) H\left(\frac{\bar{K}_i}{\bar{K}_l}\right); \quad (10)$$

где $P\left(\frac{K_i}{K_l}\right)$ и $P\left(\frac{\bar{K}_i}{K_l}\right)$ – соответственно условные вероятности того, что признак K_i находится в пределах своего поля допуска, либо не в этих пределах, если ранее зарегистрированный признак K_l получен при отказном состоянии двигателя; $P\left(\frac{K_i}{\bar{K}_l}\right)$ и $P\left(\frac{\bar{K}_i}{\bar{K}_l}\right)$ – условные вероятности нахождения K_i в заданных пределах. При этом для всех $i \neq l$:

$$P\left(\frac{K_i}{K_l}\right) = \sum_{j \in (\Omega_i \cap \Omega_l)} P\left(\frac{D_j}{K_l}\right);$$

$$P\left(\frac{\bar{K}_i}{K_l}\right) = \sum_{j \in (\Omega_i \cap \Omega_l)} P\left(\frac{D_j}{K_l}\right);$$

$$P\left(\frac{K_i}{\bar{K}_l}\right) = \sum_{j \in (\Omega_i \cap \bar{\Omega}_l)} P\left(\frac{D_j}{K_l}\right);$$

$$\begin{aligned}
 P\left(\frac{\bar{K}_i}{\bar{K}_l}\right) &= \sum_{j \in (\bar{\Omega}_l \cap \bar{\Omega}_i)} P\left(\frac{D_j}{\bar{K}_l}\right); \\
 H\left(\frac{K_i}{K_l}\right) &= - \sum_{j \in (\Omega_l \cap \Omega_i)} P\left(\frac{D_j}{K_l}, K_l\right) \ln P\left(\frac{D_j}{K_l}, K_l\right); \\
 H\left(\frac{\bar{K}_i}{\bar{K}_l}\right) &= - \sum_{j \in (\bar{\Omega}_l \cap \bar{\Omega}_i)} P\left(\frac{D_j}{\bar{K}_l}, \bar{K}_l\right) \ln P\left(\frac{D_j}{\bar{K}_l}, \bar{K}_l\right); \\
 H\left(\frac{K_i}{\bar{K}_l}\right) &= - \sum_{j \in (\Omega_l \cap \bar{\Omega}_i)} P\left(\frac{D_j}{K_l}, \bar{K}_l\right) \ln P\left(\frac{D_j}{K_l}, \bar{K}_l\right); \\
 H\left(\frac{\bar{K}_i}{K_l}\right) &= - \sum_{j \in (\bar{\Omega}_l \cap \Omega_i)} P\left(\frac{D_j}{\bar{K}_l}, K_l\right) \ln P\left(\frac{D_j}{\bar{K}_l}, K_l\right).
 \end{aligned}$$

Количество информации, полученное в результате регистрации признака K_i ($i \neq 1$) относительно состояния, возникшего после диагностирования по признаку K_l , определяется по формуле:

$$I\left(\frac{K_i}{K_l}\right) = H_l(K_l) - H_{il}\left(\frac{K_i}{K_l}\right). \quad (11)$$

Анализируя, можно найти такой признак K_m , для которого

$$I\left(\frac{K_m}{K_l}\right) = \max I\left(\frac{K_i}{K_l}\right). \quad (12)$$

Выбор последующих признаков производится в соответствии с приведенной схемой до тех пор, пока число выбранных признаков станет равно числу возможных состояний.

На рис. 2 приведены результаты моделирования в программной среде MatLAB процесса работы двигателя вертолета Ми-8МТВ.

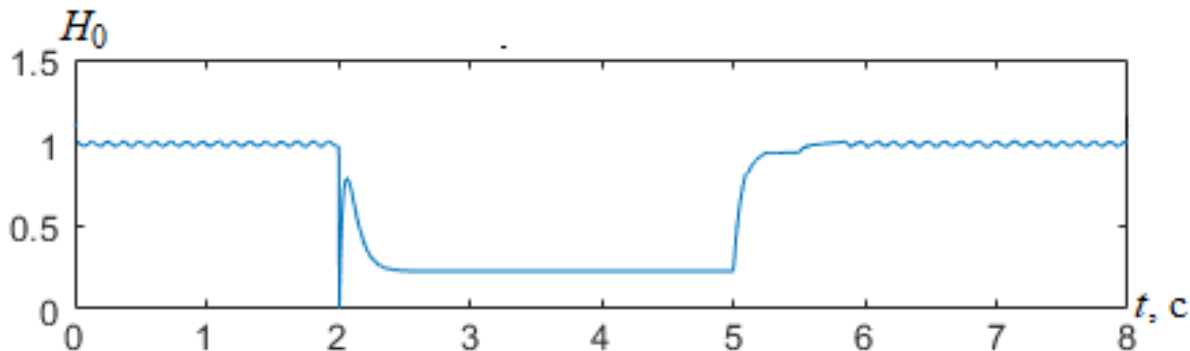


Рис. 2. Моделирование отказа одного из датчиков двигателя вертолета Ми-8МТВ

Как видно из рис. 2, при нормальном состоянии двигателя вертолета Ми-8МТВ (то есть все датчики показывают значения параметров исправно) значение энтропии равно 1. На временном участке $t = 2$ происходит выход из строя одного из датчиков (в модели это событие реализовано путем отключения одного из датчиков), что привело к резкому падению значения энтропии практически до нуля, что является следствием того, что разработанная информационная система показывает аварийное состояние двигателя вертолета Ми-8МТВ и переход в режим авторотации. Однако, выход из строя одного из датчиков не говорит о том, что система имеет аварийное состояние, следовательно, практически мгновенно (на интервале $t = 2,0 \dots 2,3$ с) система самовосстанавливается практически до значения энтропии 1 (на рис. 2 — до значения 0,8). Однако, выход из строя одного из датчиков приводит к перерасчету вышесказанных коэффициентов вследствие либо из-за отсутствия данных, которые поступают из неисправного датчика, либо из-за неадекватных и неправдоподобных значений. Поэтому на временном участке $t = 2,3 \dots 5,0$ с значение энтропии падает до какого-то неопределенного значения, но, вследствие того, что двигатель работает в нормальном режиме, значение энтропии снова выходит на прежний уровень, то есть до значения 1, что свидетельствует о том, что система имеет свойство к самовосстановлению и выход из строя одного датчика не является причиной аварийной ситуации [9].

Выводы

Таким образом, в работе предложена информационная диагностическая система двигателя вертолета Ми-8МТВ, которая позволяет при отказе одного из датчиков определять состояние двигателя во время эксплуатации, что приводит к безопасному продолжению полета. Перспективой дальнейшей работы

является разработка информационно-управляющей технологии двигателем вертолета Ми-8МТВ путем применения разработанной системы наряду с системой диагностики и прогнозирования его состояния.

Литература

1. Mashoshin O. F. Diagnostika aviaionnogo gazoturbinnogo dvigatelja po nalichiju vrednyh primesej v sisteme kondicionirovanija vozduha / O. F. Mashoshin, G. S. Zontov // Nauchnyj vestnik MGTU GA. – M. : MGTU GA, 2014. – № 205. – С. 44–48.
2. Diagnostika i nerazrushajushhij kontrol' letatel'nyh apparatov i aviadvigatelej / [Pivovarov V. A., Mashoshin O. F., Hrustikov S. G., Sannikov A. V.]. – M. : MGTU GA, 2011. – 89 с.
3. Mashoshin O. F. Instrumental'nye metody diagnostiki aviaionnoj tehniki : uchebnoe posobie / O. F. Mashoshin. – M. : MGTUGA, 2010. – 88 с.
4. Mashoshin O. F. Informacionnoe obespechenie processov diagnostirovanija aviaionnoj tehniki / O. F. Mashoshin, A. V. Bigus // Nauchnyj vestnik MGTU GA. – M. : MGTU GA, 2002. – № 49. – С. 44–48.
5. Mashoshin O. F. Informacionnoe obespechenie processov diagnostirovanija aviadvigatelej / O. F. Mashoshin // ETAK : materialy nauchn. trudov konf. – Egor'evsk, 2001. – С.15–16.
6. Mashoshin O. F. Diagnostika aviaionnoj tehniki : uchebnoe posobie / O. F. Mashoshin. – M. : MGTU GA, 2007. – 141 с.
7. Pivovarov V. A. Primenenie apparata teorii statisticheskoj klassifikacii k zadacham diagnostirovanija aviaionnoj tehniki / V. A. Pivovarov, O. F. Mashoshin // Nauchnyj vestnik MGTU GA. – M. : MGTU GA, 1999. – № 20. – С. 25–30.
8. Mashoshin O. F. Interpretacija teorii K. Shennona v klassifikacionnyh zadachah informacionnoj diagnostiki aviadvigatelej / O. F. Mashoshin // Nauchnyj vestnik MGTU GA. – M. : MGTU GA, 2004. – № 80. – С. 60–65.
9. Клімова Я. Р. Передумови застосування рівнянь марківського процесу при діагностуванні відмови двигуна вертольоту Мі-8МТВ / Я. Р. Клімова, С. І. Владов // Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Європи та Азії : матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 27–28 лютого, 2018 р., Переяслав-Хмельницький. – Переяслав-Хмельницький : ТОВ «Колібрі 2011», 2018. – С. 32–34.

References

1. Mashoshin O. F. Diagnostika aviaionnogo gazoturbinnogo dvigatelja po nalichiju vrednyh primesej v sisteme kondicionirovanija vozduha / O. F. Mashoshin, G. S. Zontov // Nauchnyj vestnik MGTU GA. – M. : MGTU GA, 2014. – № 205. – С. 44–48.
2. Diagnostika i nerazrushajushhij kontrol' letatel'nyh apparatov i aviadvigatelej / [Pivovarov V. A., Mashoshin O. F., Hrustikov S. G., Sannikov A. V.]. – M. : MGTU GA, 2011. – 89 s.
3. Mashoshin O. F. Instrumental'nye metody diagnostiki aviaionnoj tehniki : uchebnoe posobie / O. F. Mashoshin. – M. : MGTUGA, 2010. – 88 s.
4. Mashoshin O. F. Informacionnoe obespechenie processov diagnostirovanija aviaionnoj tehniki / O. F. Mashoshin, A. V. Bigus // Nauchnyj vestnik MGTU GA. – M. : MGTU GA, 2002. – № 49. – С. 44–48.
5. Mashoshin O. F. Informacionnoe obespechenie processov diagnostirovanija aviadvigatelej / O. F. Mashoshin // ETAK : materialy nauchn. trudov konf. – Egor'evsk, 2001. – С.15–16.
6. Mashoshin O. F. Diagnostika aviaionnoj tehniki : uchebnoe posobie / O. F. Mashoshin. – M. : MGTU GA, 2007. – 141 s.
7. Pivovarov V. A. Primenenie apparata teorii statisticheskoj klassifikacii k zadacham diagnostirovanija aviaionnoj tehniki / V. A. Pivovarov, O. F. Mashoshin // Nauchnyj vestnik MGTU GA. – M. : MGTU GA, 1999. – № 20. – С. 25–30.
8. Mashoshin O. F. Interpretacija teorii K. Shennona v klassifikacionnyh zadachah informacionnoj diagnostiki aviadvigatelej / O. F. Mashoshin // Nauchnyj vestnik MGTU GA. – M. : MGTU GA, 2004. – № 80. – С. 60–65.
9. Klimova Ja. R. Peredumovi zastosuvannja rivnjan' markivs'kogo procesu pri diagnostuvanni vidmovi dviguna vertol'otu Mi-8MTV / Ja. R. Klimova, S. I. Vladov // Problemi ta perspektivi rozvitku suchasnoї nauki v kraїnah Єvropi ta Aziї : materialy Mizhnarodnoї naukovopraktichnoї internet-konferencії, 27–28 ljutogo, 2018 r., Perejaslav-Hmel'nic'kij. – Perejaslav-Hmel'nic'kij : TOV «Kolibri 2011», 2018. – С. 32–34.

Рецензія/Peer review : 12.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 23.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

КЛАСИФІКАЦІЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ДОСТАВКИ ТОВАРІВ

В роботі розглянуто основні види безпілотних літальних апаратів та ознаки, за якими вони класифікуються, а саме – за типом системи управління, масою, масштабом завдань, паливною системою, типом крила, тривалістю польоту, практичною стелею польоту, типом літального апарату, базуванням, правилами польотів, кількістю використань, типом паливного баку, радіусом дії, максимальною швидкістю польоту, кількістю двигунів, використанням, напрямком підйому/посадки, типом підйому/посадки, часом одержання зібраної інформації. На основі проведеного аналізу запропоновано класифікацію безпілотних літальних апаратів за різними критеріями та завданнями, які на них покладаються. Базуючись на запропонованій класифікації, визначено тип безпілотних літальних апаратів, який поєднує всі основні характеристики літальних апаратів для доставки товарів в межах певного населеного пункту або території. Крім того, проведено моделювання системи доставки товарів за допомогою безпілотних літальних апаратів.

Ключові слова: авіація, безпілотні літальні апарати, класифікація, технологічність, доставка товарів.

B.P. KNYSH, Y.A. KULYK, M.V. BARABAN

Vinnitsya National Technical University

CLASSIFICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES AND THEIR USE FOR DELIVERY OF GOODS

The paper deals with the main types of unmanned aerial vehicles (UAV) and the features by which they are categorized, namely, by type of control system, by mass, by scale of tasks, by fuel system, by type of wing, by flight duration, by practical flight ceiling, by type the aircraft, based on the rules of the flight, the number of uses, the type of fuel tank, the radius of action, the maximum flight speed, the number of engines, by the use, the direction of lifting / landing, the type of lift / landing, by the time received gathered information. On the basis of the analysis in this paper, a classification of unmanned aerial vehicles is proposed based on various criteria and tasks that are assigned to them. Based on the proposed classification, the type of unmanned aerial vehicles is defined, which combines all the main characteristics of aircraft for the delivery of goods within a certain settlement or territory. In addition, the modelling of the delivery system of goods with the help of unmanned aerial vehicles was carried out. It is shown that the main problems in transport infrastructure are not influenced by the system of delivery of goods by means of UAV. It was shown that it is best to use tactical, small-sized (up to 600 kg.), for small cargoes (not more than 100 kg), low-level (flight height up to 1050 m), small-sized (up to 3 x 3 meters), reusable, low-speed, near-range distance with ground-based. The main parameters for the goods delivery system has been mathematically modelled for calculating the average time for execution of one delivery, the average UAV idle time, the average number of goods in the system, the summarizing time for delivery of goods, the probability of a simple UAV situation or the absence of free UAVs that can perform delivery of goods, the intensity of service orders and the intensity of receipt of applications for delivery and the economic efficiency of the delivery system of goods, taking into account the income costs in the delivery of goods without lost and downtime UAV maintenance costs.

Keywords: aviation, unmanned aerial vehicles, classification, technology, delivery of goods.

Вступ

Україна володіє повним циклом створення авіаційної техніки і займає значне місце на світовому авіаційному ринку в секторі транспортної та регіональної пасажирської авіації, що дозволяє розробляти та виробляти авіаційну техніку за такими напрямками, як літакобудування, бортове радіоелектронне обладнання, орієнтоване на використання супутникових систем зв'язку, навігації та спостереження, надлегкі й легкі літальні апарати, вертольотобудування, безпілотні літальні апарати (БПЛА) [1]. Під останніми згідно термінології слід розуміти будь-які авіаційні літальні апарати без пілота (екіпажу) на борту, призначені для виконання завдань, які властиві пілотованим літальним апаратам [2].

БПЛА характеризуються такими перевагами над пілотованою авіатехнікою, як: відсутність в необхідності в екіпажі та системах його життєзабезпечення, аеродромах; відносна невисока вартість і низькі витрати на їх створення, виробництво та експлуатацію; порівняно незначні масогабаритні параметри в поєднанні з високою надійністю, значною тривалістю і дальністю польоту, маневреністю та переліком цільового спорядження, яке може бути розміщене на борту, тощо. БПЛА впроваджуються на всіх сферах людських інтересів, причому відзначається виникнення сфер застосування, де БПЛА не мають пілотованої альтернативи [3]. У зв'язку з викладеним не викликає жодних сумнівів в широкій різноманітності БПЛА як в сферах їх застосування, так і в завданнях, які перед ними ставлять.

Ця різноманітність зумовлена технологічністю БПЛА, яка характеризується ознаками, що визначають види цих літальних апаратів, причому збільшення сфер їх використання відповідно породжує збільшення кількості цих ознак. Сучасні класифікації не є достатньо повними, оскільки не розглядають всі види БПЛА, які існують на сьогодні, в зв'язку з динамічним розвитком цієї технології. Яскравим прикладом даного технологічного розвитку є використання БПЛА для доставки товарів. Це один із самих перспективних напрямків. Визначення типу БПЛА, який би поєднував всі основні характеристики літальних апаратів для доставки товарів в межах певного населеного пункту або території, та відповідної системи дозволить значно пришвидшити і автоматизувати процес доставки товарів.

Тому метою роботи є аналіз відомих видів БПЛА, їх класифікація та моделювання системи доставки товарів за допомогою БПЛА, тип якого визначений на основі класифікації.

Класифікація безпілотних літальних апаратів

Для практичного застосування та розробки БПЛА важливим є дослідження питання їх класифікації (рис. 1).

Основними класифікаційними ознаками, згідно рис. 1, є: за типом системи управління, за масою, за масштабом завдань, за паливною системою, за типом крила, за тривалістю польоту, за практичною стелею польоту, за типом літального апарату, за базуванням, за правилами польотів, за кількістю використань, за типом паливного баку, за радіусом дії, за максимальною швидкістю польоту, за кількістю двигунів, за використанням, за напрямком підйому/посадки, за типом підйому/посадки, за часом одержання зібраної інформації.

Тип системи управління визначає вид БПЛА. Дистанційно пілотовані літальні апарати керуються безпосередньо оператором в межах видимості через наземну станцію. Вони обладнані цифровим каналом передачі даних, які можуть передаватися на землю в режимі реального часу в межах прямої видимості або через супутниковий канал зі швидкістю до 50 Мбіт/с [4]. Дистанційно керовані працюють автономно, але можуть керуватися пілотом, який використовує лише зворотній зв'язок через інші підсистеми контролю. Такі літальні апарати містять аналоговий та цифровий канали, причому перший забезпечує стабільну передачу інформації на відстань до 40 км, а другий – до 15 км [5]. Автоматичні літальні апарати виконують попередньо запрограмовані дії. На БПЛА такого типу розміщується комплексні системи автоматичного пілотування з GPS приймачами, гіроскопами, акселерометрами, різноманітними датчиками, що дозволяє працювати в режимі реального часу та передавати дані по каналу зв'язку з частотою 1 МГц [6, 7]. Дистанційно керовані авіаційні системи керуються вбудованими системами, наприклад UASAnalyzer [6].

Маса БПЛА поділяє їх на малорозмірні – до 200 кг, середньорозмірні – 200–2000 кг, великорозмірні – 2000–5000 кг, важкі – більше 5000 кг [8].

БПЛА за масштабом завдань, які вирішуються, поділяються на тактичні, тобто дальність їх польоту не перевищує 80 км, оперативно-тактичні – до 300 км, оперативно-стратегічні – до 700 км [9].

Паливна система БПЛА виділяє їх на такі види: монозаправні – одноразова заправка паливної системи, яка виконуються в промислових умовах виробником на заводі, полізаправні – багаторазова заправка, яка може, в свою чергу, бути наземною – виконується на землі, платформна – морська (на борту морського судна) та бортова (на борту пілотованого літального апарату) [5]. Монозаправні літальні апарати споживають від 4 до 25 кг палива, тоді як полізаправні зазвичай живляться від паливних елементів та акумуляторів [9].

БПЛА за типом крила поділяються на фіксовані – літакового (забезпечує швидкість польоту близько 50-60 км/год) та гелікоптерного (забезпечує швидкість польоту близько 100 км/год) типів, плаваючі – використовуються в конвертипланах (дозволяє виконувати вертикальний зліт/посадку і має можливість фізично повертати двигуни або пропелери на 90 градусів для створення вертикальної підйомної сили або горизонтальної тягової) [5].

Тривалість польоту БПЛА різна і поділяє їх на малої тривалості – менше 6 год, середньої тривалості – 6–12 год, великої тривалості – більше 12 год [11].

Практична стеля польоту БПЛА виділяє їх на маловисотні – менше 1 км, середньовисотні – 1–4 км, висотні – 4–12 км, стратосферні – більше 12 км [11].

Літальні апарати за типом поділяються за літаковою аеродинамічною схемою, за гелікоптерною аеродинамічною схемою та легші за повітря. Зазвичай літакова схема передбачає більшу тривалість та дальність польоту БПЛА – більше 12 год та не менше 1500 км, відповідно, та мають більшу швидкість (можуть навіть перевищувати швидкість звуку). В той самий час гелікоптерна схема забезпечує більшу маневреність літального апарату [12].

БПЛА за базуванням поділяються на наземні, які пересуваються по земній поверхні, морські, орієнтовані на роботу у водному середовищі, та космічні, орієнтовані на вихід у космос. Літальні апарати наземного базування розраховані на досить великий радіус дії – не менше 1500 км, морського базування для значно менших відстаней – до 300 км, а космічні – понад 100 км [13].

БПЛА згідно правил польотів поділяються на візуальні, якщо вони знаходяться і виконують політ в межах видимості пілота, який керує і контролює їх в світлий час доби (5 км); приладовий, якщо політ виконується в автоматичному режимі не лише в межах видимої зони, але й в сліпих зонах в темний час доби (понад 150 км); візуально приладовий, коли під час польоту використовуються візуальні та приладові прийоми (5 – 150 км) [13].

БПЛА за кількістю використань поділяються на одноразові, якщо не передбачена система посадки, та багаторазові, які використовуються велику кількість разів (понад 10 разів) і можуть вирішувати різні задачі [13].

Тип паливного баку БПЛА є важливою конструкторською характеристикою, що визначає базові літальні апарати, які мають основний паливний бак, та базово-резервні – мають основний та резервний паливні баки. Додаткові паливні баки дозволяють збільшувати дальність (до 2000 км) та тривалість польоту (до 24 год) [6].

Радіус дії БПЛА варіюється в широких межах. Виділяють п'ять основних видів: ближнього радіусу дії – до 40 км, малого – до 70 км, середнього – до 300 км, дальнього – до 1500 км, великої дальності польоту – не менше 1500 км [14].

За максимальною швидкістю польоту БПЛА поділяються на замало швидкісні – до 100 км/год, малошвидкісні – від 100 до 300 км/год, середньшвидкісні – від 300 до 600 км/год, надзвукові – перевищують швидкість звуку до 5 разів [14].

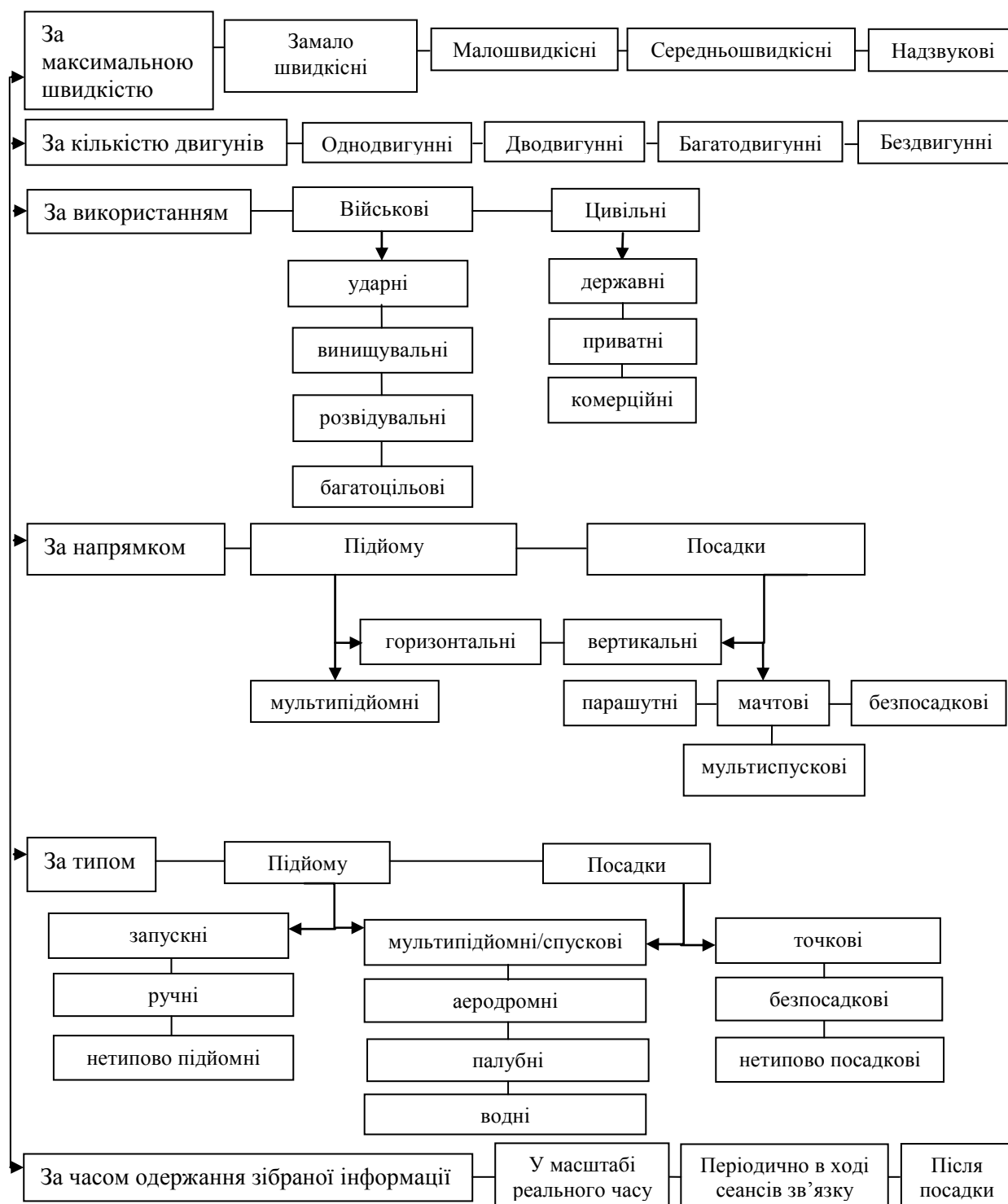
БПЛА за кількістю двигунів поділяються на однодвигунні, дводвигунні, багатодвигунні, бездвигунні. В залежності від типу та кількості двигунів потужність цих літальних апаратів може досягати 3 МВт (близько 4 тис. к.с.) [12].



Рис. 1. Класифікація безпілотних літальних апаратів

БПЛА широко використовуються в усіх сферах людської діяльності, які в загальному можна поділити на: військові та цивільні. Цивільні поділяються на державні, приватні, комерційні. В той самий час серед військових виділяють ударні, винищувальні, розвідувальні, багатоцільові [12]. Ці БПЛА різняться багатьма параметрами, причому зазвичай військові мають більшу потужність, радіус дії, тривалість польоту тощо. Цивільні БПЛА конструктивно масово представлені у вигляді квадрокоптерів, найпотужніші з яких мають швидкість 160 км/год, максимальну висоту 3000 м, корисне навантаження не більше 100 кг та

потужність 140 к.с. [15].



Продовження рис.1. Класифікація безпілотних літальних апаратів

БПЛА за напрямком підйому/посадки поділяються на горизонтальні та вертикальні. Також виділяють мультипідйомні та мультиспускові літальні апарати, тобто ті, напрям руху яких не залежать від поверхні, з якої здійснюється підйом чи посадка. Крім того, за посадкою виділяють мачтові, парашутні [5, 6] та безпосадкові БПЛА. Останні зазвичай є одноразовими та розраховані на малий радіус дії – до 10 км [16].

За типом підйому/посадки: мультипідйомні/спускові, аеродромні, палубні, водні. Мультипідйомні/спускові БПЛА не залежать від поверхні, з якої здійснюється підйом чи посадка. Крім того, за типом підйому виділяють запускні, ручні [5] та нетипово підйомні, а за типом посадки – точкові, безпосадкові та нетипово посадкові. Нетипово підйомні та посадкові БПЛА – це літальні апарати, які не мають вищенаведених особливостей запуску. На підйом/посадку значно впливає швидкість вітру біля землі, яка не повинна перевищувати 15 м/с [13].

БПЛА часом одержання зібраної інформації: у масштабі реального часу, періодично в ході сеансів зв'язку, після посадки. Передача даних в режимі реального часу вимагає наявності в конструкції БПЛА

цифрового каналу з мінімальною швидкістю передачі 1 МБіт/с. В інших типах достатньо аналогового каналу та/або запам'ятовуючого пристрою [16].

Вибір типу безпілотних літальних апаратів для доставки товарів

Базуючись на розробленій вище класифікації, виділимо характеристики, що визначають тип БПЛА, який є оптимальним для доставки товарів в межах певного населеного пункту або території.

Найбільш перспективними і масовими для цивільного застосування є БПЛА для доставки невеликих (до 100 кг) товарів. Також, згідно запропонованої класифікації, можна вважати придатними малорозмірні, тактичні БПЛА, оскільки їхня маса (до 600 кг) дозволяє перевозити більшість магабаритних (розміром не більше 3х3 метри) та невеликих (до 100 кг) вантажів. Для доставки товарів найкраще підходять маловисотні БПЛА, оскільки висотні транспортні канали (понад 1050 м) хоча і менш завантажені та перевищують всі будівлі світу, потребують додаткового часу та пального на набір висоти. Також там панують більш сильніші вітри, яким тактичні БПЛА важко протистояти. Оскільки доставка товарів відбувається між сусідніми населеними пунктами або в межах одного, то це передбачає наземне базування даних літальних апаратів. Для доставки товарів необхідні дешеві, надійні та багаторазові БПЛА. Оскільки часто здійснюється доставка однотипних товарів у різні населені пункти, створюють децентралізовані мережі складів. Тому немає необхідності БПЛА долати максимально можливі відстані. Це зумовлює їх використання для ближнього та малого радіусу дії. Для цих відстаней достатньо замало швидкісних БПЛА (до 100 км/год). Також для доставки товарів необхідні цивільні комерційні БПЛА, оскільки військові аналоги створені з урахуванням власної специфіки.

Інші класифікаційні ознаки, зокрема тип системи керування та паливної системи, кількість двигунів, тип підйому/посадки, особливого значення не мають, оскільки відносяться до технічних особливостей і при налагодженій технології на здійснення доставки особливо не впливають.

Моделювання системи доставки товарів за допомогою безпілотних літальних апаратів

На сьогодні постійно розширюється сфера застосування БПЛА, зокрема в транспорті та доставці товару. Вони можуть скласти конкуренцію традиційним засобам доставки, причому як у великих містах через наявність заторів, так і невеликих населених пунктах з недостатньо розвинутою транспортною інфраструктурою, яка для даного типу транспортного засобу значення не має. Доставка товару є системою, що вимагає автоматизації, яку забезпечують різноманітні системи масового обслуговування.

Для моделювання доставки товарів використаємо системи масового обслуговування з відмовами, оскільки вони найбільш повно описують всі можливі випадки на ринку товарів.

У випадку замовлення товарів, які будуть відправлені багатьма БПЛА, час виконання одного замовлення складе

$$T_0 = T_p / d, \quad (1)$$

де T_p – середній час на доставку однієї одиниці товару, d – кількість вільних БПЛА.

В багатьох випадках T_p можна наближено визначити як ексцентриситет графу території доставки, яка обслуговується, або як час перельоту від окраїни до центру населеного пункту/території.

Інтенсивність обслуговування складе

$$\mu = 1/T_0. \quad (2)$$

Коефіцієнт завантаження системи можна визначити з виразу

$$\rho = \lambda / \mu, \quad (3)$$

де λ – інтенсивність надходження замовлень на доставку товарів.

У даній системі повинна бути достатня кількість вільних БПЛА для обслуговування багатьох клієнтів з урахування коливання сезонного попиту, оскільки очікування вільного БПЛА часто призводить до збитків компанії, аналогічно до ситуації очікування вільного кур'єра. Імовірність такої ситуації складає [17]

$$p = \frac{\rho^d}{d!} \left[\frac{1}{1 + \rho + \frac{1}{2!}\rho^2 + \dots + \frac{1}{d!}\rho^d} \right].$$

Припустимо, що за деяку одиницю часу обслуговування замовлень доставки в системі збитки складають величину C . Також експлуатація одного БПЛА за одиницю часу призводить до витрат K . У величину K зазвичай входять як експлуатаційні витрати, так і питомі капітальні витрати на один БПЛА, пов'язані з його придбанням. Вартість обслуговування всіх БПЛА складатиме K_d . Нехай відмова в обслуговуванні однієї доставки спричиняє збиток C_0 .

Тоді наведені середні витрати, пов'язані з експлуатацією d БПЛА та з кількістю замовлень в одиницю часу T_p і збитками від відмов за одиницю часу $CT_p\lambda$, в середньому становлять

$$E = C_0\lambda\rho + CT_p\lambda + K_d. \quad (4)$$

У цьому виразі T_p , середній час виконання одного замовлення в системі, а разом з ним і $CT_p\lambda$ зменшуються зі збільшенням d . Проте і K_d за тих самих умов теж збільшується.

Таким чином, основна особливість системи доставки товарів за допомогою БПЛА полягає у виборі такого значення d , при якому критерій середніх витрат E буде мінімальним, тобто, щоб витрати, пов'язані

з придбанням та експлуатацією БПЛА і непродуктивним обслуговуванням доставок у системі (простій), були найменшими [18].

Важливим показником є середній час затримки початку обслуговування T_z , який найчастіше пов'язаний з технічною затримкою, необхідною для початку обслуговування (зокрема час на здійснення посадки та злітання). Сума середнього часу затримки T_z і власне обслуговування (доставки товару) T_o дорівнює середньому часу перебування вимоги в системі

$$T_{\text{сист}} = T_z + T_o \quad (5)$$

Встановимо зв'язок між середнім числом замовлень, що знаходиться в системі, і середнім часом перебування одного замовлення в системі. Так як за одиницю часу в систему надходить λ замовлень, а середня тривалість перебування одного замовлення в системі є $T_{\text{сист}}$, то сумарна тривалість знаходження всіх замовлень у системі за одиницю часу дорівнює $\lambda T_{\text{сист}}$. Так як в системі знаходиться в середньому A замовлень, то ця величина дорівнює

$$A = \lambda T_{\text{сист}} \quad (6)$$

Аналогічно, середня кількість замовлень доставки, які очікують виконання, складатиме

$$A_H = \lambda T_z \quad (7)$$

За рахунок додаткових витрат (зміна режиму витрат пального або модернізація парку задіяних апаратів) часто є можливість зменшити середню тривалість доставки однієї одиниці товару T_o . При цьому буде зменшуватися і величина $T_{\text{сист}}$ – середній час перебування вимоги в системі. У цьому випадку для знаходження оптимального рішення в критерій Е слід ввести також зазначені додаткові витрати.

Показником якості функціонування системи доставки є:

- коефіцієнт завантаження станції доставки (складу):

$$K_z = \frac{\lambda \mu}{n} ; \quad (8)$$

- коефіцієнт використання апаратів (який є основним показником для прогнозування завантаженості ремонтного відділу і надає основну інформацію для замовлення нових деталей та запасних частин при великому парку БПЛА)

$$K_{\text{вик}} = \frac{A_M}{n} , \quad (9)$$

де $A_M = A - A_H$ – середня кількість замовлень, яка обслуговується наявним парком БПЛА.

Висновки

В роботі проведено аналіз існуючих видів БПЛА, описано їх особливості. Запропоновано класифікацію, основними класифікаційними ознаками якої є: тип системи управління, маса, масштаб завдань, паливна система, тип крила, тривалість польоту, практична стеля польоту, тип літального апарату, базування, правила польотів, кількість використань, тип паливного баку, радіус дії, максимальна швидкість польоту, кількість двигунів, використання, напрямок підйому/посадки, тип підйому/посадки, час одержання зібраної інформації.

З наведеного вище аналізу видів БПЛА можна зробити висновок, що розроблена класифікація висвітлює всі види БПЛА, що використовуються на сьогодні.

Базуючись на запропонованій класифікації, визначено тип БПЛА, який поєднує всі основні характеристики літальних апаратів для доставки товарів в межах певного населеного пункту або території, та відповідної системи, моделювання якої наведено в роботі.

На основі проведеного моделювання системи доставки товарів за допомогою БПЛА можна зробити висновок, що її основна особливість полягає у виборі такого значення кількості вільних БПЛА, при якому критерій середніх витрат буде мінімальним, тобто, щоб витрати, пов'язані з придбанням та експлуатацією БПЛА і непродуктивним обслуговуванням доставок у системі, були найменшими.

Література

1. Про схвалення Стратегії розвитку вітчизняної авіаційної промисловості на період до 2020 року : розповсюдження Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2008 р. № 1656-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon3.rada.gov.ua>.
2. Техніка авіаційна військової призначеності. Апарати літальні безпілотні. Основні терміни, визначення понять і класифікація : ДСТУ В 7371:2013 : [наказ № 1010 від 22.08.2013] / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. – К., 2014. – С. 2.
3. Тимочко О.І. Класифікація безпілотних літальних апаратів / О.І. Тимочко, Д.Ю. Голубничий, В.Ф. Третяк, І.В. Рубан // Системи озброєння і військова техніка. – 2007. – Вип. 1(9) – С. 61.
4. Global Hawk [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.northropgrumman.com/Capabilities/GlobalHawk/Pages/default.aspx>.
5. Безпілотний авіаційний комплекс DeViRo «Лелека-100» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://uav-ua.com/ukr/leleka-100>.
6. Рогатюк А.А. Реалізація інформаційної технології розпізнавання, детектування та ідентифікації у вигляді додатку обробки відеоданих / А.А. Рогатюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 5 – С. 237–242.

7. Мясіщев О. А. Режими польоту контролерів польоту арм 2.6 і pіxhawk БПЛА / О. А. Мясіщев, В.В. Швець // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 1 (257). – С. 78–82. – ISSN 23075732.
8. Кутовий, О.П. Тенденції розвитку безпілотних літальних апаратів / О.П. Кутовий // Наука і озброєння – 2014. – № 4. – С. 39–47.
9. Дементьев Д.О. Бойові Літальні комплекси в складі єдиної інформаційно-розвідувально-навігаційно-ударної системи / Д.О. Дементьев // Зб. наук. пр. Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К. : ВІКНУ, 2015. – №27. – С. 74–77.
10. Беспилотный летательный аппарат «R-400» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://eizvestia.com/armiya/full/386-bespilotnyj-letatelnyj-apparat-r-400>.
11. Луцкий М.Г. Развитие международного регулирования та нормативной базы использования беспилотных летательных аппаратов / М.Г. Луцкий, В.П. Харченко, Д.О. Бугайко // Вісник НАУ. – 2015. – № 4. – С. 5–14.
12. Моисеев, В. С. Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами: монография / В. С. Моисеев. – Казань : ГБУ «Республиканский центр мониторинга качества образования» (Серия «Современная прикладная математика и информатика»), 2013. – С. 768.
13. Ростопчин В.В. Беспилотні авіаційні системи: основні поняття / В.В. Ростопчин, І.Е. Бурдун / Електроніка: Наука, Технологія, Бізнес. – 2016. – № 7. – С. 82–88.
14. Сальник Ю.П. Аналіз технічних характеристик і можливостей безпілотних авіаційних комплексів оперативно-тактичного та тактичного радіуса дії армій розвинених країн / Ю.П. Сальник, І.В. Матала // Військово-технічний зб. – 2013. – № 7. – С. 70–74.
15. Беспилотное летающее такси Ehang 184 уже тестируют в небе над Дубаем [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://itc.ua/blogs/bespilotnoe-letayushhee-taksi-ehang-184-uzhe-testiruyut-v-nebe-nad-dubaem-video>.
16. Харченко О.В. Класифікація та тенденції створення безпілотних літальних апаратів військового призначення / О.В. Харченко, В.В. Кулешин, Ю.В. Коцуренко // Наука і оборона. – 2015. – № 6. – С. 47–54.
17. Приймак А.В. Аналіз доцільності створення та застосування багатofункціональних безпілотних авіаційних комплексів цивільного призначення / А.В. Приймак, Я.В. Дар'їн, Д.М. Стрюк, А.А. Слободянюк // Системи озброєння і військова техніка. – 2010. – № 3(23). – С. 142–145.
18. Таха Х. Введение в исследование операций / Х. Таха. – М. : «Вильямс», 2001. – 912 с.

References

1. Pro skhvalennia Stratehii rozvytku vitchyznianoї aviatsiinoї promyslovosti na period do 2020 roku : rozpovsiudzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 27 hrudnia 2008 r. № 1656-r [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://zakon3.rada.gov.ua>.
2. Tekhnika aviatsiina viiskovoї pryznachnosti. Aparaty litalni bezpilotni. Osnovni terminy, vyznachennia poniat i klasyfikatsiia : DSTU V 7371:2013 : [nakaz № 1010 vid 22.08.2013] / Ministerstvo ekonomichnoho rozvytku i torhivli Ukrainy. – K., 2014. – S. 2.
3. Tymochko O.I. Klasyfikatsiia bezpilotnykh litalnykh aparativ / O.I. Tymochko, D.Iu. Holubnychy, V.F. Tretiak, I.V. Ruban // Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika. – 2007. – Vyp. 1(9) – S. 61.
4. Global Hawk [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.northropgrumman.com/Capabilities/GlobalHawk/Pages/default.aspx>.
5. Bezpilotnyi aviatsiinyi kompleks DeViRo «Leleka-100» [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://uav-ua.com/ukr/leleka-100>.
6. Rohatiuk A.A. Realizatsiia informatsiinoї tekhnolohii rozpiznavannia, detektuvannia ta identyfikatsii u vyhladi dodatku obrobky videodanykh / A.A. Rohatiuk // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2015. – № 5 – S. 237–242.
7. Miasishchev O. A. Rezhymy polotu kontroleriv polotu arpm 2.6 i pīxhawk BPLA / O. A. Miasishchev, V.V. Shvets // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 1 (257). – S. 78–82. – ISSN 23075732.
8. Kutovyi, O.P. Tendentsii rozvytku bezpilotnykh litalnykh aparativ / O.P. Kutovyi // Nauka i ozbroiennia – 2014. – № 4. – S. 39–47.
9. Dementiev D.O. Boiovi litalni komplekxy v skladi yedynoi informatsiino-rozvidualno-navihatsiino-udarnoi systemy / D.O. Dementiev // Zb. nauk. pr. Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnogo universytetu im. Tarasa Shevchenka. – K. : VIKNU, 2015. – №27. – S. 74–77.
10. Bespilotnyi letatelnyi apparat «R-400» [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://eizvestia.com/armiya/full/386-bespilotnyj-letatelnyj-apparat-r-400>.
11. Lutskyi M.H. Rozvytok mizhnarodnoho rehuliuвання ta normatyvnoi bazy vykorystannia bezpilotnykh litalnykh aparativ / M.H. Lutskyi, V.P. Kharchenko, D.O. Buhaiko // Visnyk NAU. – 2015. – № 4. – S. 5–14.
12. Moiseev, V. S. Prykladnaia teoriia upravleniia bespilotnymi letatelnyimi apparatamy: monohrafiia / V. S. Moiseev. – Kazan : HBU «Respublykanskii tsentr monitorynha kachestva obrazovaniia» (Seriia «Sovremennaia prikladnaia matematika y ynformatyka»), 2013. – S. 768.
13. Rostopchyn V.V. Bezpilotni aviatsiini systemy: osnovni poniattia / V.V. Rostopchyn, I.E. Burdun / Elektronika: Nauka, Tekhnolohiia, Biznes. – 2016. – № 7. – S. 82–88.
14. Salnyk Yu.P. Analiz tekhnichnykh kharakterystyk i mozhlyvostei bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv operatyvno-taktychnoho ta taktychnoho radiusa dii armii rozvynenykh krain / Yu.P. Salnyk, I.V. Matala // Viiskovo-tekhnichnyi zb. – 2013. – № 7. – S. 70–74.
15. Bespilotnoe letaiushchee taksi Ehang 184 uzhe testyruut v nebe nad Dubaem [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://itc.ua/blogs/bespilotnoe-letayushhee-taksi-ehang-184-uzhe-testiruyut-v-nebe-nad-dubaem-video>.
16. Kharchenko O.V. Klasyfikatsiia ta tendentsii stvorennia bezpilotnykh litalnykh aparativ viiskovoho pryznachennia / O.V. Kharchenko, V.V. Kulieshyn, Yu.V. Kotsurenko // Nauka i oborona. – 2015. – № 6. – S. 47–54.
17. Pryimak A.V. Analiz dotsilnosti stvorennia ta zastosuвання bahatofunktsionalnykh bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv tsyvilnoho pryznachennia / A.V. Pryimak, Ya.V. Darin, D.M. Striuk, A.A. Slobodianiuk // Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika. – 2010. – № 3(23). – S. 142–145.
18. Takha X. Vvedenie v yssledovanye operatsii / X. Takha. – M. : «Vyliams», 2001. – 912 s.

Рецензія/Peer review : 27.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 14.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

В.М. ГОДОВАНЮК, І.В. ДОКТОРОВИЧ, В.Г. ЮР'ЄВ

Відкрите акціонерне товариство ЦКБ Ритм, м. Чернівці

І.М. ФОДЧУК, Є.О. ШОРОК

Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича

ДОДАТКОВІ ПОХИБКИ, ЩО ВИНИКАЮТЬ В ОСВІТЛЮВАЧАХ

В роботі проведено дослідження додаткових випадкових похибок під час вимірювання світлових потоків; визначено рівні та межі значень цих похибок та наведено рекомендації щодо їх усунення або зменшення впливу на результат вимірювань

Ключові слова: світловий потік; кольорова температура джерела; додаткові похибки; метод порівняння.

V.M. HODOVANYUK, I.V. DOKTOROVYCH, G.V. YURYEV

Open Joint-Stock Enterprise "Central Design Bureau Ritm"

I.M. FODCHUK, YE.O. CHOROK

Yuri Fedkovych Chernivtsi National University

ADDITIONAL ERRORS OCCURRING IN ILLUMINATORS

In the course of measuring light parameters of radiation sources there can periodically occur so-called additional errors. They occur accidentally even if the measurements were reliable and stable before their appearances. The reasons for their occurrence are implicit so the time of detecting such cases is not predictable and may be less or more prolonged. To simplify the analysis of appearance and influence of implicit errors of illuminators on the results of measurements of optical radiation parameters, it is necessary to identify the reasons of their occurrence and to estimate the level of errors. To do this, we need to solve the following tasks: to determine a list of technical reasons of additional errors occurrence; to study levels and limits of values of additional errors; to give recommendations on eliminating or reducing the impact of additional errors. This work considers the most probable reasons of appearance of additional errors that affect results of measurements, namely: influence of structural elements of lamps such as contacts and a flask; influence of diaphragms, walls and tubes of illuminators; spatial dependence of radiation; dimensions of a source; inaccuracy of installation of receivers in a measurement plane; low-quality connection of a radiation source with a power supply; regulating elements of a power supply. Recommendations are proposed, levels and limits of values of additional errors are given to reduce influence of each of the mentioned factors.

Key words: light flux; colour temperature of the source; additional errors; method of comparison.

Вступ. При вимірюваннях світлових параметрів джерел випромінювання періодично вкрадаються, так звані, додаткові похибки. Вони виникають випадково і виникають навіть тоді, коли до їх появи вимірювання були надійними та стабільними. Причини їх виникнення неясні, тому час виявлення таких причин не передбачуваний і може бути менш або більш тривалим.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Розробниками та дослідниками джерел оптичного випромінювання приводяться окремі результати наявних проблем, що виникають в процесі експлуатації джерел; описані процеси зміни параметрів випромінювання; пропонуються шляхи поліпшення конструкцій.

В [1] указується на процеси, що спричиняють розпилення – це *випаровування* металу під дією високої температури в вакуумі чи газовому середовищі; *бомбардування* тіла розжарювання важкими частинками, наприклад позитивними іонами інертного газу; *механічне відривання* частинок металу поглинутих ним газів при різкому підвищенні (скачку) температури; *хімічна* дія оточуючого середовища летучими сполуками матеріалу тіла розжарювання. Зазвичай має місце одночасної дії перерахованих причин, що призводить до зменшення ефективного діаметру тіла розжарювання та переносу частинок на колбу та в зону цоколя. В результаті цього процесу втрачається прозорість колби і, як наслідок, зменшується потік випромінювання.

Про цоколі ламп в [1] сказано тільки те, яким способом вони кріпляться з колбою та електродами лампи.

В [2] описуються загальновідомі методи вимірювань світлових величин потоків випромінювання; приводяться оригінальні засоби вимірювальної техніки, які забезпечують вимірювання параметрів випромінювання та описуються процеси, які впливають на строк служби ламп.

В книзі [3], приведені апаратура та методи виконання вимірювань фотоелектричних параметрів фотоприймачів та фотоприймальних пристроїв. В розділі «Істочники излучения» описано тільки методи розрахунків та вимірювання параметрів потоків випромінювання; розглянуто типи джерел і умови їх використання.

В [4] детально розглянуто теоретичні питання спектрального розподілу випромінювання; розрахунки його параметрів в будь-якому спектральному діапазоні; рекомендовано умови використання джерел випромінювання.

В [5] приведено огляд наявних і використовуваних в фотометрії традиційних джерел; описано основні параметри оптичного випромінювання та методи їх вимірювання; розглянуто конструктивні особливості та приділено особливу увагу світлодіодним джерелам.

Таким чином в розглянутих літературних джерелах, призначених для інформаційного забезпечення процесів вимірювань параметрів потоків випромінювання, представлено необхідний об'єм матеріалу для

виконання таких робіт. Проте в жодному із них не указані метрологічні характеристики освітлювачів; не висвітлена природа виникнення похибок та можливість зменшення їх впливу на процес вимірювань. Якщо ж згадуються зміни початкових параметрів в процесі напрацювання джерел випромінювання, то вони дещо узагальнені та роздрібнені. Для користувачів важливо знати причини змін умов вимірювань і, по можливості, усунути ці зміни.

Цілі та задачі дослідження. Для спрощення аналізу появи та впливу неявних похибок освітлювачів на результати вимірювань параметрів оптичного випромінювання необхідно виявити причини їх виникнення та оцінити рівні похибок.

Для досягнення указаної цілі необхідно вирішити наступні задачі:

- визначити перелік технічних причин виникнення додаткових похибок;
- дослідити рівні та межі значень додаткових похибок;
- дати рекомендації щодо усунення або зменшення впливу додаткових похибок.

Результати досліджень. Розглянемо найбільш ймовірні причини появи додаткових похибок, які впливають на результати вимірювань.

Контакти. Цоколі джерел випромінювання – це конструктивні елементи ламп, що забезпечують надійний зв'язок з електричним колом при їх установці в електричний патрон. В фотометрії частіше за інші використовуються цоколі з різьбовим $E27$ або $E40$, де E – позначення цоколя (різьбовий), число – це діаметр в міліметрах (рис.1а); штифтовим, або його ще називають байонетним, типу B (рис.1б) або штиревим типу G (рис.1в) з'єднаннями.

В фотометрії, як вже зазначалося, джерела повинні забезпечувати декілька основних вимог. Нагадаємо, що це вимоги щодо спектрального складу випромінювання; рівня потоку випромінювання достатнього для проведення метрологічних операцій та точковості джерела. В основному ці вимоги взаємопов'язані з робочою температурою, точніше, з кольоровою температурою випромінюючого тіла джерела. Ця температура досить висока і рівна $T_k = 2850K$. Хоча конструкції ламп забезпечують мінімальну теплопередачу на корпус та цоколь, проте вони все ж таки сильно нагріваються. Висока температура цоколя та вологість навколишнього середовища призводять до окислення контактів, що, в *першу чергу*, змінює режим живлення лампи, а відповідно змінюється спектральний склад випромінювання. *По-друге*, виникає короткочасна та довготривала нестабільність потоку випромінювання. При короткочасній нестабільності зміна потоку відбувається або періодично монотонно або скачками. Із-за постійної зміни рівня потоку, важко виконати будь-які метрологічні операції. При довготривалій нестабільності потік змінюється досить повільно, можна виконати вимірювання, не помічаючи впливу цієї зміни, проте результати вимірювань на початку їх проведення і в кінці будуть суттєво різнитися. *По-третє*, погіршуються пружні властивості sprужинних контактів електричного патрона, що також призводить до нестабільності потоку.

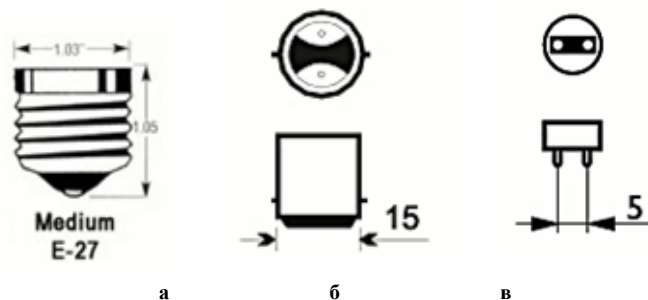


Рис. 1. Типи цоколів джерел випромінювання

Розглянуті фактори можуть вносити від 1 до 20 % додаткової похибки у визначенні потоку випромінювання.

Рекомендації по усуненню даного виду похибок.

По-перше, використовувати лампи та електричні патрони тільки впродовж установленого часу напрацювання, в межах якого контакти незначно змінюють свої властивості і забезпечують надійний зв'язок з мережею живлення. Для ламп з споживаною потужністю 100 Вт (наприклад, лампа РГ12-100) цей час не повинен перевищувати 400 год. При виконанні високоточних вимірювань джерела випромінювання та патрони після часу напрацювання необхідно міняти на нові. Це затратно, але при цьому даний вид похибок повністю виключається з процесу вимірювань.

По-друге, необхідно використовувати нестандартний електричний патрон з масивними контактами, що покращить тепловіддачу і уповільнить процес їх окислення.

По-третє, для виконання вимірювань з невисокими вимогами щодо точності вимірювань, допускається після часу напрацювання контакти зачищати наждачним папером. Це призводить до зношення захисного шару покриття контактів, проте на певний час покращує умови вимірювань.

По-четверте, після відведеного часу напрацювання допустимо використовувати джерела випромінювання, але після обов'язкового повторного калібрування їх за основними параметрами та чистки

контактів.

Причиною додаткових похибок може бути *блок живлення* джерела випромінювання. Прояви, характер і рівні похибок аналогічні розглянутим – це зміна спектрального складу потоку; короточасна та довготривала нестабільність випромінювання і, як наслідок, внесення додаткової похибки від 1 до 20 %. Це ускладнює аналіз причин даного типу додаткових похибок, оскільки і контакти і блок живлення в рівній мірі можуть бути цією причиною. В даному випадку необхідно по чергові перевірити контакти та блок живлення.

Наймовірніше в блоці можуть, *по-перше*, «зноситися» (окислитися, підгоріти, стертися і т.д.) елементи регулювання струму джерела випромінювання – це перемикач дискретної установки струму та регулюючий резистор плавної установки. На практиці для певного типу джерел випромінювання використовують певний тип блоків. Тому регулюючі елементи установлюються приблизно в одне і те ж положення, а це призводить до їхнього передчасного зношення. Переконавшись в тому чи не це є причиною похибок можна установкою указаних елементів в інше, що задає менші струми, положення. Якщо нестабільність випромінювання зникла, то причиною є блок, якщо залишилася – контакти джерела.

По-друге, можуть погіршитися технічні характеристики блока живлення в цілому. В цьому випадку зразу виявити неполадки блоку не можливо: спочатку необхідно усунути можливі дефекти контактів, потім переконавшись в якості регулюючих елементів блоку і, якщо після цього потік випромінювання буде нестабільним, то тоді може бути, що блок бракується за технічними характеристиками.

В обох указаних випадках блоки потрібно передати на ремонт. Додатково зазначимо, що для надійної роботи блоків необхідно проводити періодичну метрологічну перевірку

По-третє, були не якісно з'єднані джерело з блоком живлення. В даному випадку потрібно добре закріпити контакти з'єднуючих провідників.

По-четверте, не витримано зазначений час прогріву для даного джерела випромінювання. Бувають випадки, хоча досить рідко, коли зміна параметрів джерела відбувається під дією навколишнього середовища. Рекомендація: впродовж виконання вимірювань необхідно контролювати та підтримувати робочий режим джерела.

Джерелом додаткових похибок може бути *відбивання випромінювання від колби (рис. 2), стінок освітлювача (рис. 3) та діафрагм (рис. 4)*.

Величина даного типу похибок можна вважати незначною – від 0.5 до 2.0 %. Вони проявляються при зміні взаємного розташування фотоприймача відносно джерела або зміні їх геометричних розмірів. Проте для прецизійних пристроїв добавка навіть 0.5 % може бути причиною браку виробу.

Для усунення впливу перевідбивання випромінювання на результат вимірювань, *найперше*, потрібно встановити діафрагми. Вони повинні бути чорнені та мати тонкі стінки (для зменшення відбивання на краях діафрагми). Розміри та їх геометричне розташування не повинні обмежувати робочий потік і максимально повно екранувати відбите від елементів освітлювача випромінювання

По-друге, калібрування потоку випромінювання необхідно проводити методом порівняння. В якості контрольного фотоприймача краще використовувати однотипний з вимірюваним. В цьому випадку, якщо і буде попадати відбите (неробоче) випромінювання, воно буде однаковим для контрольного та досліджуваного фотоприймачів і таким чином вплив буде мінімізовано.

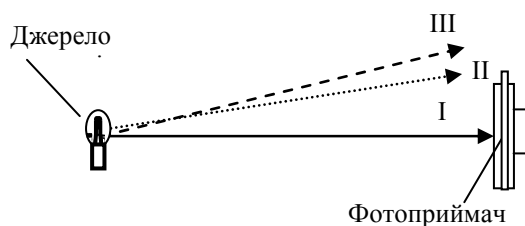


Рис. 2. Хід променів, створених тілом розжарювання (I) та його зображеннями на стінці колби лампи (II) та на ізоляторі-держаку електродів (III)

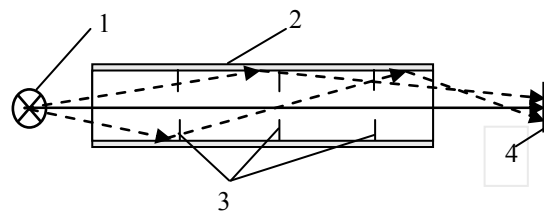


Рис. 3. Схема ходу променів в тубусі освітлювача: 1 – випромінювач; 2 – тубус; 3 – екрани-діафрагми; 4 – фотоприймач

Більшість джерел, що використовуються в фотометрії видимого діапазону, мають просторово-залежну діаграму випромінювання - на рис. 5 приведено найбільш типові із них. Зрозуміло що незначне відхилення положення фотоприймача в площині каліброваних значень потоків призведе до появи додаткових похибок вимірювань – похибок спричинених *нерівномірністю потоку*. Даний тип похибок в значній мірі залежить від: використовуваного джерела; розмірів опромінюваної площі; відстані між приймачем і джерелом і знаходиться в межах від 5 до 40 %.

Нерівномірність потоку також позначатиметься на результаті вимірювань багатоеlementних фотоприймачів, оскільки по різному буде відбуватися опромінення центральних і крайніх елементів такого приймача.

Зменшити вплив нерівномірності випромінювання можна, *по-перше*, за допомогою фотометричної сфери. Це складний в технічному виконанні, дорогий матеріально, але найкращий за метрологічними показниками засіб, що може бути запропонований – на вихідному вікні сфери створюється розподіл потоку

близький до Ламбертового випромінювання і вплив нерівномірності повністю виключається.

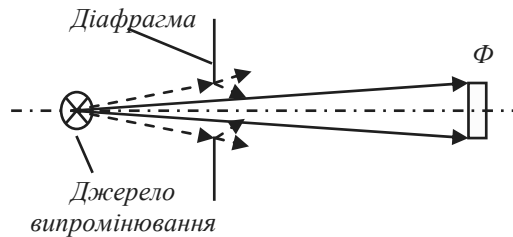


Рис. 4. Схема утворення додаткових потоків випромінювання на краях діафрагми

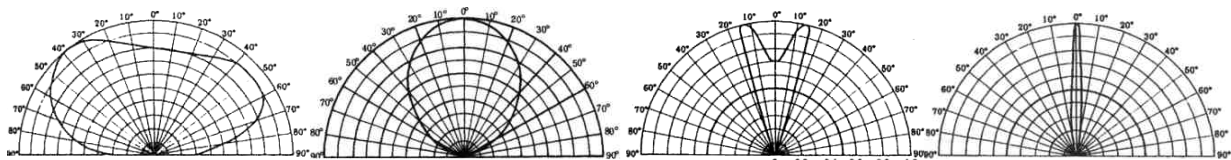


Рис. 5. Діаграми джерел випромінювання [6, 7]

По-друге, зменшують вплив нерівномірності за допомогою пластини-розсіювача з так званого молочного скла. Цей засіб гірший за сферу, але значно кращий за будь-який інший.

Збільшуючи відстань між приймачем та джерелом, можна дещо покращити рівномірність потоку в межах чутливого елемента. Це третій дієвий спосіб.

Розглянуті способи покращення рівномірності потоку випромінювання мають і недоліки – значно послаблюється рівень потоку що падає на приймач, а це в свою чергу призводить до зменшення фотосигналів та проблем з їх вимірюванням.

Також можна зменшити вплив нерівномірності випромінювання, використовуючи метод порівняння. Відносно просто цей метод діє для одноеlementних фотоприймачів - нерівномірність сприйматиметься як усереднена величина. Для багатеlementних приймачів необхідно визначати параметри потоку випромінювання кожним фоточутливим елементом контрольного приймача, а потім так само враховувати ці параметри для відповідно кожного елемента вимірюваного приймача.

Причиною додаткових похибок може бути «неточкове» джерело. В залежності від протяжності джерела похибки можуть сягати 20 %. Для зменшення даного типу похибок необхідно використовувати фотометричну сферу (сфери бувають від 100 мм до 3 м в діаметрі) або добитися умови точкового джерела випромінювання.

В освітлювачах часто використовують оптичні елементи – лінзи, світлофільтри, дзеркала, розсіювачі, послаблювачі та ін., які є спектрально-селективними елементами (окрім чорнених поверхонь спеціальною чорню). Стандарти допускають спотворення спектру джерел випромінювання – ламп розжарювання з кольоровою температурою $T=2850$ K), за умови якщо інтегральний коефіцієнт використання випромінювання не перевищує 2 % [8]. Ця величина незначна і, в більшості випадків, мало позначається на результатах вимірювань. Проте необхідно зазначити, по-перше, що методика визначення інтегрального коефіцієнта використання досить складна. По-друге, на практиці часто приходиться використовувати оптичні елементи, які значно змінюють спектр випромінювання.

Враховувати вплив оптики на результат вимірювань складно. Найпростіше в даному випадку – це визначення параметрів потоку джерела випромінювання в комплекті з цією оптикою, наприклад, визначення параметрів за допомогою контрольного фотоприймача з відомою чутливістю до потоку з даним спектральним складом.

При вимірюваннях прецизійних пристроїв в оптичних схемах краще обходитися без додаткових оптичних елементів.

Неявною причиною додаткових похибок є неточність установки елементів вимірювальної схеми (джерела або фотоприймача) в площині вимірювання, наприклад, площа установки вимірюваного приймача дещо відрізняється від площини установки контрольного – приймач може бути установлений ближче або далі від джерела. Ця неточність мало позначатиметься на результаті вимірювань, якщо вона значно менша відстані між джерелом та приймачем. Наприклад, при відстані в 1 м відхилення установки на 5 мм, що є помітним візуально і конструктивно неприпустимим, призведе до зростання похибки на 1 %. А при відстані 0.5 м, при такому ж відхиленні, похибка зросте вже до 5 %.

Таким чином, збільшуючи відстань між елементами, можна зменшити вплив неточності установки їх в площину вимірювання. Якщо в вимірювальній схемі немає можливості збільшувати відстань, необхідно конструктивно забезпечити точну установку елементів схеми.

До ймовірних причин неявних додаткових похибок віднесемо вплив контрольних засобів. Рівень похибок визначається, по-перше, статусом джерела відносно повірочної схеми [9,10]. По-друге, при калібруванні джерел випромінювання можуть бути допущені неточності визначення кольорової температури, сили світла або обох параметрів водночас.

Висновки

1. В результаті досліджень встановлено основні причини виникнення додаткових похибок, а саме: вплив конструктивних елементів ламп таких як контакти та колба; вплив діафрагм, стінок та тубусів освітлювачів; просторова залежність випромінювання; габарити джерела; неточність установки приймачів в площину вимірювань; неякісне з'єднання джерела випромінювання з блоком живлення; регулюючі елементи блока живлення.

2. Для зменшення впливу кожного із розглянутих факторів запропоновано рекомендації.

3. Наведено рівні та межі значень додаткових похибок.

4. Для зменшення впливу контрольних засобів на результат вимірювань, необхідно використовувати групу засобів, як правило, групу з 3 шт. однотипних джерел випромінювання і за результатами вимірювань світлових потоків визначати середнє значення, яке приймають за результат вимірювань.

Література

1. Литвинов В.С. Тепловые источники оптического излучения / Литвинов В.С., Рохлин Г.Н. – М. : Энергия, 1975.
2. Гуторов М.М. Основы светотехники и источники света / Гуторов М.М. – М. : Энергоатомиздат, 1983.
3. Васильченко Н.В. Измерение параметров приемников оптического излучения / Васильченко Н.В., Борисов В. А. и др. – М. : Радио и связь, 1983. – С. 88.
4. Криксунов Л. З. Справочник по основам инфракрасной техники / Криксунов Л. З. – М. : Сов. радио, 1978.
5. Назаренко Л.А. Основы радиометрии та фотометрии / Назаренко Л.А., Сорокін В.М. – Х. : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2014.
6. Справочная книга по светотехнике / под редакцией Ю.Б.Айзенберга. – М. : Энергоатомиздат, 1983.
7. www.marktechopto.com.
8. ГОСТ 17772-88. Приёмники излучения полупроводниковые фотоэлектрические и фотоприёмные устройства. Методы измерения фотоэлектрических параметров и определения характеристик. – М., 1988.
9. ДСТУ 3394-96. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань світлових одиниць.
10. КНД 50-030-94. Державна повірочна схема для засобів вимірювань світлових одиниць.

References

1. Litvinov V.S. Teplovyye istochniki ohticheskogo izlucheniya / Litvinov V.S., Rohlin H.N. – M. Energiya - 1975.
2. Gutorov M.M. Osnovy svetotekhniki i istochniki sveta, M., Energoatomizdat, 1983.
3. Vasilchenko N. V. Izmereniye parametrov priyemnikov ohticheskogo izlucheniya / Vasilchenko N. V., Borisov V. A. i dr. - M.: Radio i svyaz, 1983. - S. 88.
4. Kriksunov L. Z. Spravochnik po osnovam infrakrasnoj tekhniki. - M.: Sov. radio, 1978.
5. Nazarenko K.A. Osnovy radiometrii ta fotometrii / Nazarenko K.A., Sorokin V.M. // Kh, KhNUMG im. O.M. Beketova, 2014.
6. Spravohnaya kniga po svetotekhniki. Pod redakciyej k.t.n. Y.B.Ajzenberga. - M.: Energoatomizdat, 1983.
7. www.marktechopto.com.
8. GOST 17772-88 Priyomniki izlucheniya poluprovodnikovyye fotoelektrichskiye i fotopriyemnyye ustrojstva. Metody izmerenij fotoelektricheskikh parametrov i opredeleniya charakteristik - M., 1988.
9. DSTU 3394-96 Metrologiya. Derzhavna povirochna schema dlya zasobiv vymiryuvanj svitlovych odynyc.
10. KND 50-030-94 Derzhavna povirochna schema dlya zasobiv vymiryuvanj svitlovych odynyc.

Рецензія/Peer review : 26.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ВПЛИВ СПОСОБУ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ GaAs-ПІДКЛАДКИ НА ПИТОМИЙ ПЕРЕХІДНИЙ ОПІР ОМІЧНИХ КОНТАКТІВ НА ОСНОВІ СРІБЛА

В роботі визначався вплив хімічної та термічної обробки пластини арсеніду галію n-типу провідності на питомий перехідний опір омичних контактів Ag-Ge-In/n-p-GaAs. Доведено, що якість омичного контакту поліпшується, якщо GaAs-підкладку після знежирення в суміші толуолу і метилового спирту, хімічної обробки у сірчанокислому травнику витримати у діоксидантній кислоті та додатково відпалити у вакуумі.

Ключові слова: омичний контакт, арсенід галію, сплав, срібло, хімічна обробка, відпал.

V.S. DMITRIEV

Zaporizhzhia State Engineering Academy

THE INFLUENCE OF THE GaAs SURFACE TREATMENT METHOD ON THE CURRENT TRANSIT RESISTANCE OF THE SILVER-BASED OHMIC CONTACTS

A typical process for forming the GaAs boundary section with any material begins with the preparation of a plate surface. It must be cleaned of foreign pollutants in accordance with the requirements adopted in the technology of microelectronics. Processing of the semiconductor surface to eliminate various defects, remove foreign contaminants, obtaining a minimum microrelief leads to the nonplanarity of the metal-semiconductor boundary section. During the semiconductors surface treatment in vacuum with the thermal annealing results to the evaporation of physically and chemically adsorbed gases from the surface, gases and dopants from the near-surface layer, as well as phase transformations in the solid phase and thermochemical reactions. In this case, the surface is subjected to the action of various herbicides and cleansers and, of course, air. The electrophysical parameters of the real semiconductors surfaces after processing by existing methods become heterogeneous along the surface. This affects the value of the specific resistance of the ohmic contacts. So there is a need to develop more effective GaAs surface passivation methods. The purpose of this work was to study the influence of the GaAs surface substrate treatment method on the magnitude of the ohmic contacts Ag-Ge-In/n-p-GaAs specific resistance. To this study, n-p-GaAs (111) B epitaxial monocrystalline with an epitaxial layer thickness of 2 μm , donors concentration in the epitaxial layer $N_D=2\cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, donor concentration in the substrate $n=10^{18} \text{ cm}^{-3}$, carriers mobility $\mu > 5000 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ was used. It has been established that the quality of the ohmic contact is improved if the GaAs substrate after chemical treatment in the sulfuric acid endure in the dioxinic acid during $1.2\cdot 10^3$ seconds and further annealed in a vacuum not less than $1.2\cdot 10^{-6}$ Torr at the 873 K temperature for 60 seconds. It is proved that the adhesion, the surface condition of the sprayed film and the value of the specific resistance depend on the method of GaAs pre-processing.

Keywords: ohmic contact, gallium arsenide, alloy, silver, chemical treatment, annealing.

Постановка проблеми

Одним з основних параметрів, що характеризують якість омичних контактів є контактний опір, який має бути мінімальним. Типовий процес формування межі розділу GaAs з будь-яким матеріалом починається з підготовки поверхні пластини, яка повинна бути очищена від сторонніх забруднень відповідно до вимог [1–7], прийнятих в технології мікроелектроніки. Реальні епітаксійні плівки, які використовують в основному для виготовлення контактів метал-напівпровідник, мають нерівномірний розподіл домішок, що виникає в процесі вирощування плівки. Це призводить до появи механічної напруги та може привести до виникнення дислокацій, тріщин чи дефектів упаковки. Встановлено [2, 3, 6, 8], що обробка поверхні напівпровідника для усунення різних дефектів, видалення чужорідних домішок, отримання мінімального мікрорельєфу призводить до непланарності межі розділу метал-напівпровідник. Також при обробці поверхні напівпровідників у вакуумі за допомогою термічного відпалу відбуваються випаровування фізично та хімічно адсорбованих газів з поверхні, газів і легуючих домішок з приповерхневого шару, а також фазові перетворення в твердій фазі й термохімічні реакції [6–9]. При цьому поверхня піддається дії різних травників і очищуючих складів і, звичайно, повітря. Якщо нанести на чисту поверхню арсеніду галію будь-який матеріал, то властивості перехідної області з боку підкладки повинні відповідати чистому GaAs: рівень Фермі у GaAs на межі розділу повинен знаходитися біля середини забороненої зони. Тому електрофізичні параметри реальних поверхонь напівпровідників після обробки існуючими способами стають неоднорідними уздовж поверхні, а отже потребують розробки більш ефективних методів пасивації поверхні GaAs.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Величина контактної опору омичного контакту r_k визначається значною мірою технологією його створення. Результати досліджень [7, 9] дозволили встановити, що для виготовлення омичних контактів необхідно отримувати у поверхні напівпровідника концентрацію домішок 10^{18} cm^{-3} . Існують різні способи [10, 11] збільшення концентрації носіїв заряду у приповерхневому шарі. Легування поверхні металом [2, 6] відбувається при обробці поверхні напівпровідника у розчинах, що травлять або не травлять, які містять домішки різних металів.

Арсенід галію має іонно-ковалентний зв'язок. Особливість сполук $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ полягає у різній швидкості розчинення напівпровідників на площині (111) з гранями А і В, які мають різний характер хімічних зв'язків поверхневих атомів підкладки. При однаковому травнику сторона (111) В полірується (гладка, дзеркальна), сторона (111) А – матова з розвинутою мозаїчною структурою [6]. Хімічне полірування напівпровідникової підкладки проводять з метою згладжування нерівностей зі зменшенням шорсткості поверхні. Проведено

порівняльний аналіз відомих поліруючих травників до GaAs.

Для хімічного полірування GaAs-підкладок використовують [12] лужний травник $\text{H}_2\text{O}_2(30\%):\text{KOH}(10\%) = 1:5$ та $1:20$. Цей травник безпечний у роботі, однак якість ρ_k трохи гірша, ніж у сірчаноокислих травниках, особливо при глибині полірування більше 5 мкм.

Для хімічного полірування арсеніду галію широко використовують систему Br_2 -метанол [6, 13], яка є універсальною системою травлення для $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$, але значна токсичність її компонентів спонукає вести пошук нових, менш токсичних галогенвмісних та галогенвиділяючих травильних композицій. Задовільні результати хімічного полірування за якістю та станом поверхні пластин GaAs отримані у розчинах метанолу зі змістом броду від 2% до 5%.

Відомі роботи [13, 14], у яких відмовляються від поліруючих травників на основі перекису й сірчаної кислоти [14] та пропонують аміачно-перекисний травник для отримання матованої (шорсткої) поверхні арсеніду галію для покращення адгезії або відзначають [14], що аміачно-перекисний травник ніяк не впливає на характеристики приладів.

В [13] проведено порівняння якості поверхні GaAs при обробці травником складу $\text{NH}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ (1:20:0) – поверхня хвиляста, $R_z \geq 0,06$ мкм, травником $\text{H}_2\text{O}_2:\text{HF}:\text{NH}_4\text{F}$ (15-26):(4-6):(67-80) – поверхня дзеркальна, $R_z=0,07$ мкм, травником $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ (3:1:1) – дзеркальна поверхня з $R_z=0,02$ мкм. Таким чином, травлення в сірчаноокислому травнику дає якіснішу поверхню.

Досить розповсюдженими поліруючими травниками для GaAs є розчини на основі $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ [6] зі співвідношенням компонентів від 3:1:1 до 30:1:1, тобто з високим вмістом сірчаної кислоти. Згідно [6] зі збільшенням концентрації сірчаної кислоти у травнику швидкість полірування зменшується з 5-8 до 0,2 мкм/хв.

У [15] описаний спосіб попередньої обробки GaAs-підкладки для отримання омичних контактів Ag-Ge-In/n-GaAs, у якому пластини епітаксійного n-GaAs піддавали хімічному поліруванню в суміші метилового спирту і броду (6:1) (за об'ємом). Питомий перехідний опір отриманих омичних контактів достатньо високий $\rho_k=(1,5\dots2)\cdot10^{-2} - (8\dots9)\cdot10^{-3}$ Ом·см².

У [16] обробка поверхні GaAs проводилась у $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ (2:1:50) та $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}$ (1:1), $\rho_k=1,9\cdot10^{-3}\dots1,3\cdot10^{-4}$ Ом·см².

У [7] хімічна обробка пластин GaAs у сірчаноокислому травнику з різним співвідношенням H_2SO_4 та H_2O_2 (1:2; 4:2; 3:1; 5:1) довела, що найкращі значення $\rho_k=7\cdot10^{-4}$ Ом·см² отримані при травленні в суміші $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ (3:1:1).

Омичні контакти на основі срібла при таких способах обробки GaAs-підкладки мають недостатньо низький питомий перехідний опір.

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи було дослідження впливу способу обробки поверхні GaAs-підкладки на величину питомого перехідного опору омичних контактів Ag-Ge-In/n-p⁺GaAs.

Викладення основного матеріалу дослідження

Зниження опору омичних контактів (ОК) дозволяє зменшити опір пасивних областей і таким чином домогтися зниження коефіцієнта шуму [17, 18] в МІС НВЧ підсилювачів. Наразі для створення омичних контактів на арсеніді галію використовують подвійні або більш складні сплави на основі міді, срібла, золота, паладію з домішкою металів (кадмію, магнію, алюмінію, індію та ін.), котрі легко окислюються. Опір ерозії цієї групи сплавів базується на захисній дії оксидних плівок, що перешкоджають випаровуванню, але не перешкоджають контактній провідності. Сплави срібла подібного типу досить добре пручаються корозії, зберігаючи низький контактний опір [18].

Для створення контактів у приладах з арсеніду галію повинні використовуватися метали або сплави, які добре розчиняються у ньому або створюють евтектичний сплав. Розчинність металу у GaAs визначає ступінь можливого легування приконтактних шарів напівпровідника. Від розчинності арсеніду галію у металі залежить глибина вплавлення металу, від якої в свою чергу залежить якість отриманого омичного контакту. Цю розчинність можливо визначити з діаграми стану метал-миш'як-галій [19, 20].

У [7, 12, 21, 22] досліджено термічну стабільність тонких срібних плівок, оскільки при підвищенні температури може виникнути агломерація, що проявляється в зміні морфології та веде до зміни електричних характеристик плівок. В [22, 23] було запропоновано для придушення явища агломерації вводити легуючі компоненти, перешкоджаючи зростанню зерен під час відпалу. При цьому важливе значення для Ag-плівок мають не тільки ретельний підбір легуючих елементів, але і їх кількість.

Срібло під дією електричних розрядів окислюється, але оксиди срібла електропровідні та легко дисоціюють (температура дисоціації ~ 573 К). Внаслідок цього окислення майже не позначається на стійкості контактної опору срібних контактів. Срібло володіє схильністю до утворення непровідних плівок сульфиду Ag_2S в результаті взаємодії з сірководнем, сліди якого завжди присутні в атмосфері. Наявність вологи прискорює перебіг реакції. Тому срібні контакти не рекомендується застосовувати по сусідству з гумою, ебонітом чи іншими матеріалами, що містять сірку.

Методи нанесення металів на напівпровідники за ступенем впливу на властивості поверхні напівпровідника можна розділити на дві групи [24]: методи, що не змінюють властивості поверхні напівпровідника (наприклад, термічне напилення металу у вакуумі при низькій температурі напівпровідника) та методи, що змінюють властивості поверхні напівпровідника (наприклад, катодне

розпилення металу, хімічне та електрохімічне осадження). Хімічне та електрохімічне осадження не використовують для матеріалів високої чистоти через побічні процеси та сторонні домішки в електролітах. Катодне розпилення проводиться у атмосфері газу, що може призводити до забруднення напилених плівок контактного матеріалу.

Контакти виготовляли методом вакуумного випаровування. Високий вакуум в процесі термічного випаровування дозволяє отримати металеві плівки без забруднення. Цей метод [24] дозволяє у широких межах регулювати швидкість випаровування та температуру підкладки. Товщина плівки контакту складала 0,5 мкм.

Для дослідження використовувався $n\text{-GaAs}(111)\text{B}$ епітаксійний монокристалічний, товщина епітаксійного шару $d_{\text{еш}}=2$ мкм, концентрація донорів в епітаксійному шарі $N_D=2\cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, концентрація донорів у підкладці $n_{\text{підкл}}=10^{18} \text{ см}^{-3}$, рухливість носіїв $\mu>5000 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

Визначення величини питомого перехідного опору контактів ρ_k , як правило, є необхідним для оцінки якості омичних контактів. Існує цілий ряд методів [25], які іноді поділяють за способом визначення перехідного опору контактів. Величина ρ_k є фізичною характеристикою невідпрямляючих контактів, яка не залежить від їх площі та геометрії. У зв'язку з розвитком планарної та планарно-епітаксійної технологій інтегральних схем і деяких типів напівпровідникових приладів стає актуальним вимірювання ρ_k контактів, що знаходяться на одній стороні напівпровідникової пластини. Існують різні методи вимірювання перехідного опору омичних контактів до тонких шарів напівпровідника [26]. Значення питомого перехідного опору омичного бар'єрного переходу розраховувалось за методикою, запропонованою у [27]. Тестовий зразок представляв собою структуру з контактами у формі паралельних прямокутників на поверхні тонкого епітаксійного шару, зрощеного на високолегованій напівпровідниковій підкладці. Вимірювання опору контакту проводилося компенсаційним методом [27]. Основна похибка вимірів при цьому, виражена в % від номінального значення вимірюваного опору при температурі $+293\pm 2 \text{ К}$ і відносній вологості повітря 80%, не перевищувала значень: а) $\pm 0,1\%$ у межах $10^{-3}\text{--}10^{-2} \text{ Ом}$, б) $\pm 0,05 \%$ в межах $10^{-2}\text{--}10^{-8} \text{ Ом}$. Розрахунок питомого перехідного опору омичного контакту проводився методом еквівалентних схем [27]. Умова використання методу: тонкий шар напівпровідника з малим питомим опором, на якому нанесено контакт, поверхневий опір металевому контакту менший за поверхневий опір напівпровідника, ширина контакту набагато більше товщини епітаксійного шару.

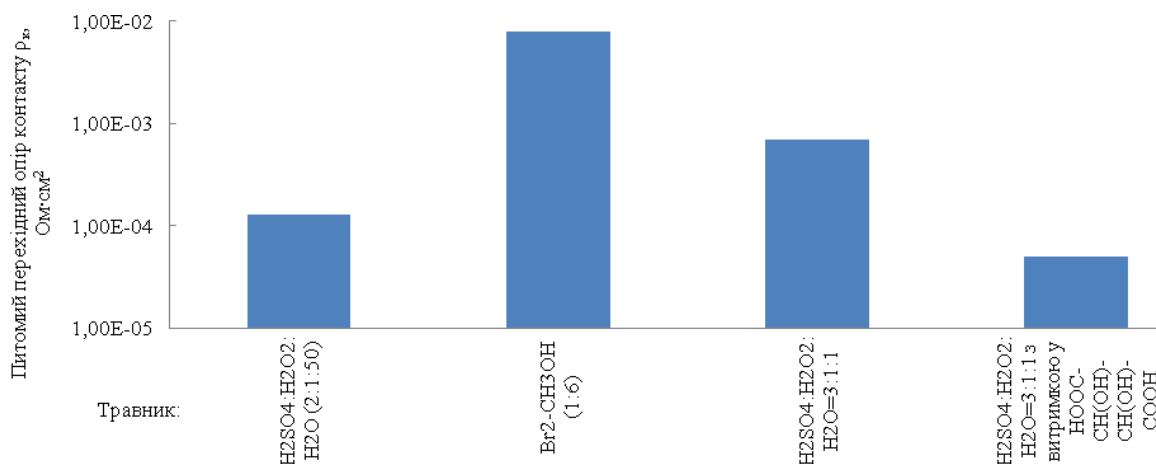


Рис. 1. Вплив хімічної обробки GaAs на питомий перехідний опір омичних контактів на основі срібла

Порівняльний аналіз відомих [6, 7, 13, 16] способів обробки з метою отримання найнижчого ρ_k показав (рис. 1), що за станом та якістю поверхні пластин GaAs кращим травником є $\text{H}_2\text{SO}_4\text{:H}_2\text{O}_2\text{:H}_2\text{O}$ (3:1:1).

У таблиці 1 наведено результати розрахунків питомого перехідного опору контакту ρ_k для контактів, які до напилення потрібного сплаву були відпалені при різних температурах.

При проведенні дослідження впливу хімічної обробки пластини GaAs на питомий перехідний опір омичного контакту у сірчано-кислотному травнику $\text{H}_2\text{SO}_4\text{:H}_2\text{O}_2\text{:H}_2\text{O}$ (3:1:1) було рекомендовано додатково витримувати пластину впродовж $(1\ldots 1,3)\cdot 10^3$ секунд у діоксикислоті $\text{HOOC-CH(OH)-CH(OH)-COOH}$, промивати у гарячій, холодній дистильованій та деіонізованій воді та у метиловому спирті. Чистота поверхні контролювалася наступним методом: пари води з невеликого отвору потрапляють на випробовувану поверхню пластини і конденсуються на ній. Якщо на поверхні гідрофобних матеріалів немає, крапельки, що утворилися, змочуватимуть її і розтікатимуться, утворюючи тонку безперервну плівку води. Встановлено, що витримка у діоксикислоті впродовж $(1\ldots 1,3)\cdot 10^3$ секунд після хімічного полірування в суміші $3\text{H}_2\text{SO}_4\text{-1H}_2\text{O}_2\text{-1H}_2\text{O}$ знижує значення питомого перехідного опору до $5\cdot 10^{-5} \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$ (рис. 1).

Таблиця 1

Вплив попереднього відпалу на питомий перехідний опір контактів ρ_k

Температура попереднього відпалу GaAs-підкладки, К	Питомий перехідний опір контактів ρ_k , Ом·см ²				
	Партії GaAs-пластин				
	№1	№2	№3	№4	№5
673	$9 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$
698	$8,6 \cdot 10^{-2}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$	$4,3 \cdot 10^{-2}$
723	$8 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$
748	$7,15 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
773	$6 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$
798	$6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
823	$7 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$
848	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
873	$8 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$
Час відпалу, с	30	60	90	120	150

Досліджено вплив на питомий перехідний опір контакту Ag-Ge-In/n-n⁺GaAs попереднього відпалу пластин арсеніду галію після хімічної обробки.

Встановлено, що додатковий попередній температурний відпал підкладки при 873 К впродовж 60 секунд у вакуумі при залишковому тиску порядку $2 \cdot 10^{-6}$ Торр знижує значення питомого перехідного опору омичних контактів до $\rho_k = (5 \dots 7) \cdot 10^{-5}$ Ом·см².

Висновки

Встановлено, що адгезія, стан поверхні напленої плівки та значення питомого перехідного опору залежать від способу попередньої обробки GaAs.

Доведено, що якість омичного контакту покращується, якщо GaAs-підкладку після хімічної обробки у сірчаноокислому травнику, витримати у діоксидантній кислоті впродовж $1,2 \cdot 10^3$ секунд та додатково відпалити у вакуумі не гірше $1,2 \cdot 10^{-6}$ Торр при температурі 873 К впродовж 60 секунд.

Література

1. Фелдман Л. Основы анализа поверхности и тонких пленок / Л. Фелдман, Д. Майер ; [пер. с англ. В. А. Аркадьев ; пер с англ. Л. И. Огнев ; ред. В. В. Белошицкий]. – М. : Мир, 1989. – 344 с.
2. Маркин Б. В. Влияние химической обработки на состав поверхности GaAs / Б. В. Маркин, В. В. Чикун // Электронная техника. Серия 1. Электроника СВЧ. – 1990. – № 4. – С. 19–22.
3. Электрически активные дефекты монокристаллического арсенида галлия, вызванные обработкой / П. Н. Петров, Н. А. Калашникова, О. Д. Жукова, О. Д. Ермилов // Электронная техника. Серия 1. Электроника СВЧ. – 1989. – № 6 (240). – С. 54–57.
4. Пат. 2402103 Российская Федерация, МПК Н 01 L 21/316. Способ пассивации поверхности GaAs / Ерофеев Е. В., Ишуткин С. В., Кагадей В. А., Носаева К. С. ; заявитель и патентообладатель ЗАО «Научно-производственная фирма Микран». – № 2009133993/28 ; заявл. 10.09.09 ; опубл. 20.10.10, Бюл. № 29.
5. Пат. 2319798 Российская Федерация, МПК Н 01 L 21/302. Способ получения атомно-гладкой поверхности подложки арсенида галлия / Безрядин Н. Н., Котов Г. И., Стародубцев А. А., Стрыгин В. Д., Арсентьев И. Н. ; заявитель и патентообладатель ГОУВПО Воронежская государственная технологическая академия. – № 2006116830/15 ; заявл. 16.05.06 ; опубл. 20.03.08, Бюл. № 8.
6. Физико-химические методы обработки поверхности полупроводников / [Б. Д. Луфт, В. А. Перевошиков, Н. М. Возилова и др.]. – М. : Радио и связь, 1982. – 136 с.
7. Пат. № 84122 Україна, МПК Н 01 L 21/28 (2006.01). Спосіб виготовлення омичного контакту до GaAs / Дмитрієв В. С., Швець Є. Я., Дмитрієва Л. Б. ; заявник і патентовласник Запорізька державна інженерна академія. – № u201304691 ; заявл. 15.04.13 ; опубл. 10.10.13, Бюл. № 19.
8. Бондаренко В. Б. Анализ естественных неоднородностей потенциала у поверхности примесного полупроводника / В. Б. Бондаренко, М. В. Кузьмин, В. В. Кораблев // Физика и техника полупроводников. – 2001. – Т. 35, № 8. – С. 964–968.
9. Івашук А. В. Формування омичних контактів з одночасним очищенням поверхні арсеніду галію і її легуванням атомами германію / А. В. Івашук. // Наукові вісті НТУ КПП. – 2000. – № 2. – С. 5–8.
10. Дмитрієв В. С. Технологические особенности изготовления усилителя бегущей волны / В. С. Дмитрієв, Є. Я. Швець // Сборник материалов 10-й международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ - 2014» / В. С. Дмитрієв, Є. Я. Швець. – Севастополь : СевНТУ, 2014. – С. 158. – (ISBN 978-617-612-072.).
11. Управление характером токопереноса в барьере Шоттки с помощью δ -легирования: расчет и эксперимент для Al/GaAs / В. И. Шашкин, А. В. Мурель, В. М. Данильцев, О. И. Хрыкин // Физика и техника полупроводников. – 2002. – Т. 36, № 5. – С. 537–542.
12. Thermal stability of Ag films in air prepared by thermal evaporation / [L. Jing, L. Fachun, L. Limei and other] // Applied Surface Science. – 2007. – Vol. 253, № 17. – P. 7036–7040.

13. Штейнгарт А. П. Применение метода поверхностной фото-ЭДС для анализа процесса химической обработки GaAs / А. П. Штейнгарт // Вестник Новгородского государственного университета. – 2004. – №26. – С. 173–174.
14. Пат. 2063095 Российская Федерация, МПК H 01 L 21/306. Травитель для арсенида галлия / Возмилова Л. Н., Малярова В. Г. ; заявитель Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов, патентообладатель Завод при Научно-исследовательском институте полупроводниковых приборов. – № 93026208/25 ; заявл. 07.05.93 ; опубл. 27.06.96, Бюл. № 17-2000.
15. Изготовление омических контактов к GaAs n-типа проводимости из сплавов Ag-Sn и Ag-Ge-In / [О. Д. Баранцева, В. Б. Бердацев, Т. В. Критская и др.]. // Электронная техника. Серия 1: Электроника СВЧ. – 1975. – № 12. – С. 98–104.
16. Huo P. Ti/Pd/Ag Contacts to n-Type GaAs for High Current Density Devices [Электронный ресурс] / P. Huo, I. Rey-Stolle // Journal of Electronic Materials. – 2016. – Vol. 45, № 6. – P. 2769–2775. – Режим доступа : <http://dx.doi.org/10.1007/s11664-016-4432-6>
17. Малошумящие арсенид-галлиевые усилители при воздействии электромагнитных помех повышенных интенсивностей [Электронный ресурс] / [С. В. Платонов, Н. В. Пермяков, Б. И. Селезнев и др.] // Вестник Новгородского государственного университета. – 2012. – № 67. – С. 29–32. – Режим доступа : <http://www.novsu.ru/file/1010219>.
18. Дмитриев В. С. Технологические особенности изготовления СВЧ прибора с барьерами Шоттки / В. С. Дмитриев, Л. Б. Дмитриева, Е. Я. Швец // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 2018. – Т. 61, № 2. – С. 108–116.
19. Мильвидский М. Г. Физико-химические основы получения разлагающихся полупроводниковых соединений / М. Г. Мильвидский, О. В. Пелевин, Б. А. Сахаров. – М. : Металлургия, 1974. – 392 с.
20. Panish M. B. Ternary Condensed Phase Systems of Gallium and Arsenic with Group IB Elements [Электронный ресурс] / M. B. Panish. // Journal of The Electrochemical Society. – 1967. – Vol. 114, № 5. – С. 516–521. – Режим доступа : <http://jes.ecsdl.org/content/114/5/516.full.pdf>.
21. Electrical and morphological change of Ag–Ni films by annealing in vacuum / M. Kawamura, M. Yamaguchi, Y. Abe, K. Sasaki. // Microelectronic Engineering. – 2005. – Vol. 82, №3-4. – P. 277–282.
22. Christou A. Solid phase formation in Au: Ge/Ni, Ag/In/Ge, In/Au: Ge GaAs ohmic contact systems / A. Christou // Solid-State Electronics. – 1979. – Vol. 22, № 2. – P. 141–149.
23. Comparison of the agglomeration behavior of Ag(Al) films and Ag(Au) films / K. Sugawara, M. Kawamura, Y. Abe, K. Sasaki // Microelectronic Engineering. – 2007. – Vol. 84, № 11. – P. 2476–2480.
24. Майссела Л. Технология тонких пленок / Л. Майссела, Р. Гленга. – Москва : Сов. радио, 1977. – Т. 1. – 662 с.
25. Чистяков Ю. Д. Анализ методов определения величины переходного сопротивления невыпрямляющих контактов / Ю. Д. Чистяков, В. В. Баранов, А. П. Достанко. – М. : ЦНИИ «Электроника», 1973. – 64 с. – (Обзоры по электронной технике. Полупроводниковые приборы ; вып. 7(143)).
26. Каганович Э. Б. Методы измерения контактного сопротивления полупроводниковых планарных структур (обзор) / Э. Б. Каганович, С. В. Свечников // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. – 1991. – Вып. 21. – С. 1–11.
27. Нисков В. Я. Измерение переходного сопротивления контактов на тонких слоях полупроводника / В. Я. Нисков, В. В. Заддэ, А. К. Зайцева, В. И. Стрельцова // Приборы и техника эксперимента – 1971. – № 2. – С. 240–242.

References

1. Feldman L. Osnovy analiza poverhnosti i tonkih plenok [Tekst] / L. Feldman, D. Majer ; [per. s angl. V. A. Arkadev ; per s angl. L. I. Ognev ; red. V. V. Beloshickij]. – М.: Mir, 1989. – 344 s.
2. Markin B. V. Vliyaniye himicheskoy obrabotki na sostav poverhnosti GaAs [Tekst] / B. V. Markin, V. V. Chikun. // Elektronnaya tekhnika. Seriya 1. Elektronika SVCh. – 1990. – №4. – С. 19–22.
3. Elektricheski aktivnyye defekty monokristallicheskogo arsenida galliya. vyzvannyye obrabotkoy [Tekst] / P. N. Petrov, N. A. Kalashnikova, O. D. Zhukova, O. D. Ermilov. // Elektronnaya tekhnika. Seriya 1. Elektronika SVCh. – 1989. – №6 (240). – С. 54–57.
4. Pat. 2402103 Rossijskaya Federaciya, МПК H 01 L 21/316. Sposob passivacii poverhnosti GaAs. / Erofeev E. V., Ishutkin S. V., Kagadej V. A., Nosaeva K. S.; zayavitel i patentoobladatel ZAO «Nauchno-proizvodstvennaya firma Mikran». – №2009133993/28; zayavl. 10.09.09; opubl. 20.10.10, Byul. №29.
5. Pat. 2319798 Rossijskaya Federaciya, МПК H 01 L 21/302. Sposob polucheniya atomno-gladkoj poverhnosti podlozhki arsenida galliya / Bezryadin N.; N., Kotov G. I., Starodubcev A. A., Strygin V. D., Arsentev I. N.; zayavitel i patentoobladatel GOUVPO Voronezhskaya gosudarstvennaya tehnologicheskaya akademiya. – №2006116830/15; zayavl. 16.05.06; opubl. 20.03.08, Byul. №8.
6. Fiziko-himicheskie metody obrabotki poverhnosti poluprovodnikov / [B. D. Luft, V. A. Perevoshikov, N. M. Vozmilova i dr.]. – М.: Radio i svyaz, 1982. – 136 s.
7. Pat. № 84122 Ukraina, МПК H 01 L 21/28 (2006.01). Sposib vyhotovlennia omichnoho kontaktu do GaAs / Dmytriiev V. S., Shvets Ye. Ya., Dmytrieva L. B.; zaiavnyk i patentovlasnyk Zaporizka derzhavna inzhenerna akademiia. – №201304691; zaiavl. 15.04.13; opubl. 10.10.13, Biul. №19.
8. Bondarenko V. B. Analiz estestvennyh neodnorodnostej potentsiala u poverhnosti primesnogo poluprovodnika / V. B. Bondarenko, M. V. Kuzmin, V. V. Korablev. // Fizika i tekhnika poluprovodnikov. – 2001. – Т. 35, №8. – С. 964–968.
9. Ivashchuk A. V. Formuvannia omichnykh kontaktiv z odnoshasnym ochyshchenniam poverkhni arsenidu haliuu i yii lehuvaanniam atomamy hermaniiu / A. V. Ivashchuk. // Naukovi visti NTU KPI. – 2000. – №2. – С. 5–8.
10. Dmitriyev V. S. Tehnologicheskie osobennosti izgotovleniya usilitelya begushej volny / V. S. Dmitriyev, Ye. Ya. Shvec // Sbornik materialov 10-j mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Sovremennye problemy radiotekhniki i telekommunikacij «RT - 2014» / V. S. Dmitriyev, Ye. Ya. Shvec. – Sevastopol: SevNTU, 2014. – С. 158. – (ISBN 978-617-612-072.).

11. Upravlenie karakterom tokoprenosa v barere Shottki s pomoshyu d-legirovaniya: raschet i eksperiment dlya Al/GaAs / V. I. Shashkin, A. V. Murel, V. M. Danilcev, O. I. Hrykin. // Fizika i tehnika poluprovodnikov. – 2002. – T. 36, № 5. – S. 537-542.
12. Thermal stability of Ag films in air prepared by thermal evaporation / [L. Jing, L. Fachun, L. Limei and other]. // Applied Surface Science. – 2007. – Vol. 253, №17. – P. 7036–7040
13. Shtejngart A. P. Primenenie metoda poverhnostnoj foto-EDS dlya analiza processa himicheskoy obrabotki GaAs / A. P. Shtejngart // Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2004. – №26. – S. 173–174.
14. Pat. 2063095 Rossijskaya Federaciya, MPK H 01 L 21/306. Travitel dlya arsenida galliya / Vozmilova L. N., Malyarova V. G.; zayavitel Nauchno-issledovatel'skij institut poluprovodnikovyh priborov, patentoobladatel Zavod pri Nauchno-issledovatel'skom institute poluprovodnikovyh priborov – №93026208/25; zayavl. 07.05.93; opubl. 27.06.96, Byul. № 17-2000.
15. Izgotovlenie omicheskikh kontaktov k GaAs n-tipa provodimosti iz splavov Ag-Sn i Ag-Ge-In. / [O. D. Baranceva, V. B. Berdavev, T. V. Kritskaya i dr.]. // Elektronnaya tehnika. Seriya 1: Elektronika SVCh. – 1975. – №12. – S. 98–104.
16. Huo P. Ti/Pd/Ag Contacts to n-Type GaAs for High Current Density Devices [Elektronnyi resurs] / P. Huo, I. Rey-Stolle. // Journal of Electronic Materials. – 2016. – Vol. 45, №6. – P. 2769–2775. – Rezhym dostupu do resursu: <http://dx.doi.org/10.1007/s11664-016-4432-6>
17. Maloshumyashie arsenid-gallievye usiliteli pri vozdeystvii elektromagnitnykh pomekh povyshennykh intensivnostej [Elektronnyi resurs] / [S. V. Platonov, N. V. Permyakov, B. I. Seleznev i dr.]. // Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2012. – №67. – S. 29–32. – Rezhim dostupa k resursu: <http://www.novsu.ru/file/1010219>.
18. Dmitriev, V. S. Tehnologicheskie osobennosti izgotovleniya SVCh pribora s barerami Shottki / V. S. Dmitriev, L. B. Dmitrieva, E. Ya. Shvec. // Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Radioelektronika. – 2018. – T. 61, №2. – S. 108–116.
19. Milvidskij M. G. Fiziko-himicheskie osnovy polucheniya razlagayushihysya poluprovodnikovyh soedinenij / M. G. Milvidskij, O. V. Pelevin, B. A. Saharov. – M.: Metallurgiya, 1974. – 392 s.
20. Panish M. B. Ternary Condensed Phase Systems of Gallium and Arsenic with Group IB Elements [Elektronnyi resurs] / M. B. Panish. // Journal of The Electrochemical Society. – 1967. – Vol. 114, № 5. – C. 516–521. – Rezhym dostupu do resursu: <http://jes.ecsdl.org/content/114/5/516.full.pdf>.
21. Electrical and morphological change of Ag–Ni films by annealing in vacuum / M. Kawamura, M. Yamaguchi, Y. Abe, K. Sasaki. // Microelectronic Engineering. – 2005. – Vol. 82, №3-4. – P. 277–282.
22. Christou A. Solid phase formation in Au: Ge/Ni, Ag/In/Ge, In/Au: Ge GaAs ohmic contact systems / A. Christou. // Solid-State Electronics. – 1979. – Vol. 22, №2. – P. 141–149.
23. Comparison of the agglomeration behavior of Ag(Al) films and Ag(Au) films / K. Sugawara, M. Kawamura, Y. Abe, K. Sasaki. // Microelectronic Engineering. – 2007. – Vol. 84, №11. – P. 2476–2480.
24. Majssela L. Tehnologiya tonkih plenok / L. Majssela, R. Glenga. – Moskva: Sov. radio, 1977. – T. 1. – 662 s.
25. Chistyakov Yu. D. Analiz metodov opredeleniya velichiny perehodnogo soprotivleniya nevypryamlyayushih kontaktov [Tekst] / Yu. D. Chistyakov, V. V. Baranov, A. P. Dostanko. – M.: CNII «Elektronika», 1973. – 64 s. – (Obzory po elektronnoj tekhnike. Poluprovodnikovye pribory; vyp. 7(143)).
26. Kaganovich E. B. Metody izmereniya kontaktnogo soprotivleniya poluprovodnikovyh planarnyh struktur (obzor) / E. B. Kaganovich, S. V. Svechnikov // Optoelektronika i poluprovodnikovaya tehnika. – 1991. – Vyp. 21. – S. 1–11.
27. Niskov V. Ya. Izmerenie perehodnogo soprotivleniya kontaktov na tonkih sloyah poluprovodnika / V. Ya. Niskov, V. V. Zadde, A. K. Zajceva, V. I. Strelcova // Pribory i tehnika eksperimenta – 1971. – №2. – S. 240–242.

Рецензія/Peer review : 16.03.2018 р.

Надрукована/Printed : 22.05.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Критська Т.В.

**ОКРЕМІ ПИТАННЯ КОМУНІКАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ЯК ЧИННИК
РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНОГО СУСПІЛЬСТВА**

У статті розглядаються основні етапи та сучасні тенденції соціально-комунікаційних процесів як визначальних чинників розвитку інформаційного суспільства. Особливості еволюції інформаційно-комунікаційного сучасного середовища (глобалізація, розвиток комунікаційних технологій, мережових мультимедійних цифрових засобів зв'язку) є підтвердженням ефективності комунікації з точки зору історії, теорії, практики інформаційного ноосферогенезу.

Ключові слова: еволюція, комунікаційне середовище, інформаційне суспільство.

G.I. MIKHALEVSKA, V.TS. MIKHALEVSKIY
Khmelnytsky National University

**SPECIFIC QUESTIONS OF THE COMMUNICATION MEDIA AS A SOURCE
OF INFORMATION SOCIETY DEVELOPMENT**

The article researches some issues of the communication environment such as: stages and modern trends of social and communication processes as the determinants of the development of the information society. The characteristic of the evolution in the information and communication modern environment (globalization, development of communication technologies, network multimedia digital communication facilities) is the confirmation of the effectiveness of communication in terms of history, theory, practice of informational noospherogenesis. One of the problems in the evolution of the communication environment is the preconditions of its formation in the context of the information society, information and communication technostructure, the development of global network Internet communications. The level of Internet development in each country is closely related to the overall level of development of telecommunications infrastructure and computerization in it. Information sphere is a component of a single informational space of society, along with technosphere and semiosphere. In the conditions of the information sphere, the new social-information organizations and institutions are formed that are integral elements of the social and communication environment. That is why this environment should be examined as a conditional model that guarantees the unity of at least two components: the information space and the information environment. This requires different approaches to the formation of a development of communication environment: resource or technological (storage and circulation of information for certain social tasks) and socio-cultural (means of communication and transmission, all phases of information exchange in society, etc.). Analyzing the social hierarchies in different historical periods of the development of the information society, we can observe the growth of social significance of the individual status, due to its functionally pragmatic, communicative, cognitive and competence characteristics as communicator of the modern environment. At the same time, the significance of social communication, processes, trends in the development of the communication environment in general is associated with the socialization of the individual, the development of his abilities, spiritual needs and the accumulation of cultural, historical global experience.

Keywords: evolution, communication environment, information society.

Постановка проблеми. Сучасний розвиток суспільства характеризується реформуванням і модернізацією всіх соціально-комунікативних сфер діяльності (науки, політики, культури, економічних, трудових відносин тощо), важливими особливостями яких є процеси інформатизації. Саме через комунікаційну сферу, що трансформується за умов глобальних інформаційних можливостей, забезпечуються свобода доступу до знань, зв'язки між людьми і спільнотами, накопичення, поширення та збагачення соціального досвіду.

Формулювання цілей статті: дослідити основні проблеми, пов'язано зі створенням комунікативних систем нового рівня, здатних забезпечити якісну переробку, поширення і обмін інформацією.

Виклад основного матеріалу. Однією із проблем еволюції комунікаційного середовища науковці вважають передумови його формування в контексті інформаційного суспільства, інформаційно-комунікаційної техноструктури, розвитку глобальних мережових інтернет-комунікацій [1, 2, 7, 8].

Рівень розвитку інтернету в кожній країні тісно пов'язаний із загальним рівнем розвитку інфраструктури телекомунікацій та комп'ютеризації в ній. Близько 2/3 користувачів інтернету сьогодні представлено чоловічою статтю і тільки відповідно 1/3 – жіночою [12]. Середній вік користувачів інтернету становить трохи більше 30 років, і спостерігається його поступове зростання. Найбільший досвід роботи в інтернеті мають молоді люди у віці від 21 до 30 років. На рис. 1 показано графік залежності числа користувачів інтернету (у відсотках) від їх віку. Середній річний дохід користувачів перевищує середній, але з кількісним зростанням аудиторії мережі спостерігається його поступове зниження. До того ж, користувачі інтернету мають достатньо високий рівень освіти.

Розглядаючи комунікаційне середовище як відображення багатофункціональної системи соціальних зв'язків, взаємовідносин у різних сферах суспільної діяльності, пов'язаних із задоволенням нагальних потреб суспільства, слід пам'ятати, що воно має часові характеристики. Зокрема, **минуле** – колективний досвід, системи соціально-комунікативного знання: уміння та навички, що втілені в матеріально-суспільних комунікаційних явищах, зразках традицій комунікаційної дії та соціально-інформаційних й когнітивних процесах тощо; **теперішнє** – творча колективна праця, ефективне використання досягнень інформаційної революції в суспільстві, інноваційній трансформації соціально-культурних здобутків людства через результативну прагматичну діяльність, основану на використанні комп'ютерних і телекомунікаційних

технологій тощо; **майбутнє** – суспільно необхідні соціально-комунікаційні реальні можливості, перспективні, стратегічні форсайт-проекти, прогресивний розвиток комунікаційного середовища інформаційного суспільства.

Отже, здатність суспільства ефективно використовувати інформаційні ресурси і засоби інформаційних комунікацій, досвід і досягнення, застосовувати все це на практиці визначають його інформаційну культуру як результат самоорганізації сучасного соціально-культурного простору. У процесі трансформації інформаційного суспільства рівні інформаційної культури (інформаційна етика, комп'ютерна грамотність, культура мультимедіа тощо) є найважливішими атрибутами розвитку комунікаційних процесів, забезпечують прогрес у взаємодії суб'єктів соціально-комунікативних суспільних відносин [2, 7].

Еволюційна спрямованість комунікаційного середовища інформаційного суспільства виявляється через такі його особливості:

1) виникнення інноваційних послуг, основаних на використанні сучасних інформаційних технологій (кіберцивілізація) в суспільних сферах діяльності;

2) інтенсивність електронних потоків щодо технологізації та інформатизації комунікаційного середовища;

3) формування комунікативно-когнітивних знань, розвиток соціально-комунікаційної інформаційної інфраструктури;

4) віртуалізація соціально-комунікативних відносин як основу прогресу інформатизації суспільства;

5) використання інноваційних технологій передачі інформації, креативних ідей, знань як чинників успішного розвитку комунікаційного інформаційного суспільства тощо.

Інформаційна політика (тобто, системно узгоджені концептуальні основи і принципи, які регламентують інформаційні відносини в суспільстві) визначає закони функціонування інформаційної сфери суспільства. З метою отримання бажаних результатів необхідно реалізувати певні заходи, а саме [3]:

1) поширення сучасних електронних мультимедійних засобів надання комунікативних знань та інтеграція їх разом із традиційними класичними формами в міжнародний інформаційний простір;

2) організація електронних бібліотек, галузевих архівів та музеїв як сучасних акумуляторів і трансляторів універсальних знань та інформаційних ресурсів;

3) втілення перспективних мережових проектів – формування єдиної телекомунікаційної, мультисервісної, багатогалузевої сфери та інформаційної магістралі на рівні «місто – країна – міжнародний соціально-комунікаційний простір»;

4) створення відповідних сервісних служб, що забезпечують програмно-апаратне та техніко-технологічне управління інформаційно-комунікативними потоками, системами і засобами соціально-комунікаційної взаємодії в середовищі;

5) моніторинг інформаційних ресурсів регіону, міста, організація системи відкритого інтерактивного дистанційного інформаційно-комунікативного спілкування в глобальному середовищі.

За умов швидкого розвитку глобального інформаційного суспільства, широкого використання ІКТ у всіх сферах життя особливого значення набувають проблеми інформаційної безпеки.

Інформаційна безпека – стан захищеності життєво важливих інтересів людини, суспільства і держави, при якому запобігається нанесення шкоди через: неповноту, невчасність та невірогідність інформації, що використовується; негативний інформаційний вплив; негативні наслідки застосування інформаційних технологій; несанкціоноване розповсюдження, використання і порушення цілісності, конфіденційності та доступності інформації.

Вирішення проблеми інформаційної безпеки має здійснюватися шляхом [4]:

1) створення повнофункціональної інформаційної інфраструктури держави та забезпечення захисту її критичних елементів;

2) підвищення рівня координації діяльності державних органів щодо виявлення, оцінки і прогнозування загроз інформаційній безпеці, запобігання таким загрозам та забезпечення ліквідації їх наслідків, здійснення міжнародного співробітництва з цих питань;

3) вдосконалення нормативно-правової бази щодо забезпечення інформаційної безпеки, зокрема захисту інформаційних ресурсів, протидії комп'ютерній злочинності, захисту персональних даних, а також правоохоронної діяльності в інформаційній сфері;

4) розгортання та розвитку Національної системи конфіденційного зв'язку як сучасної захищеної транспортної основи, здатної інтегрувати територіально розподілені інформаційні системи, в яких обробляється конфіденційна інформація.

Стимулом і джерелом комунікаційного розвитку середовища є засоби інформації, які стають



Рис. 1. Графік залежності процентної кількості користувачів від віку

головною цінністю інформаційного суспільства. Це пов'язано зі створенням комунікативних систем нового рівня, здатних забезпечити якісну переробку, поширення і обмін інформацією. Збагачені новими знаннями комунікативні системи, що синтезують інформаційні потоки, дозволяють забезпечити гармонійну комунікативну взаємодію індивідів в інфосфері.

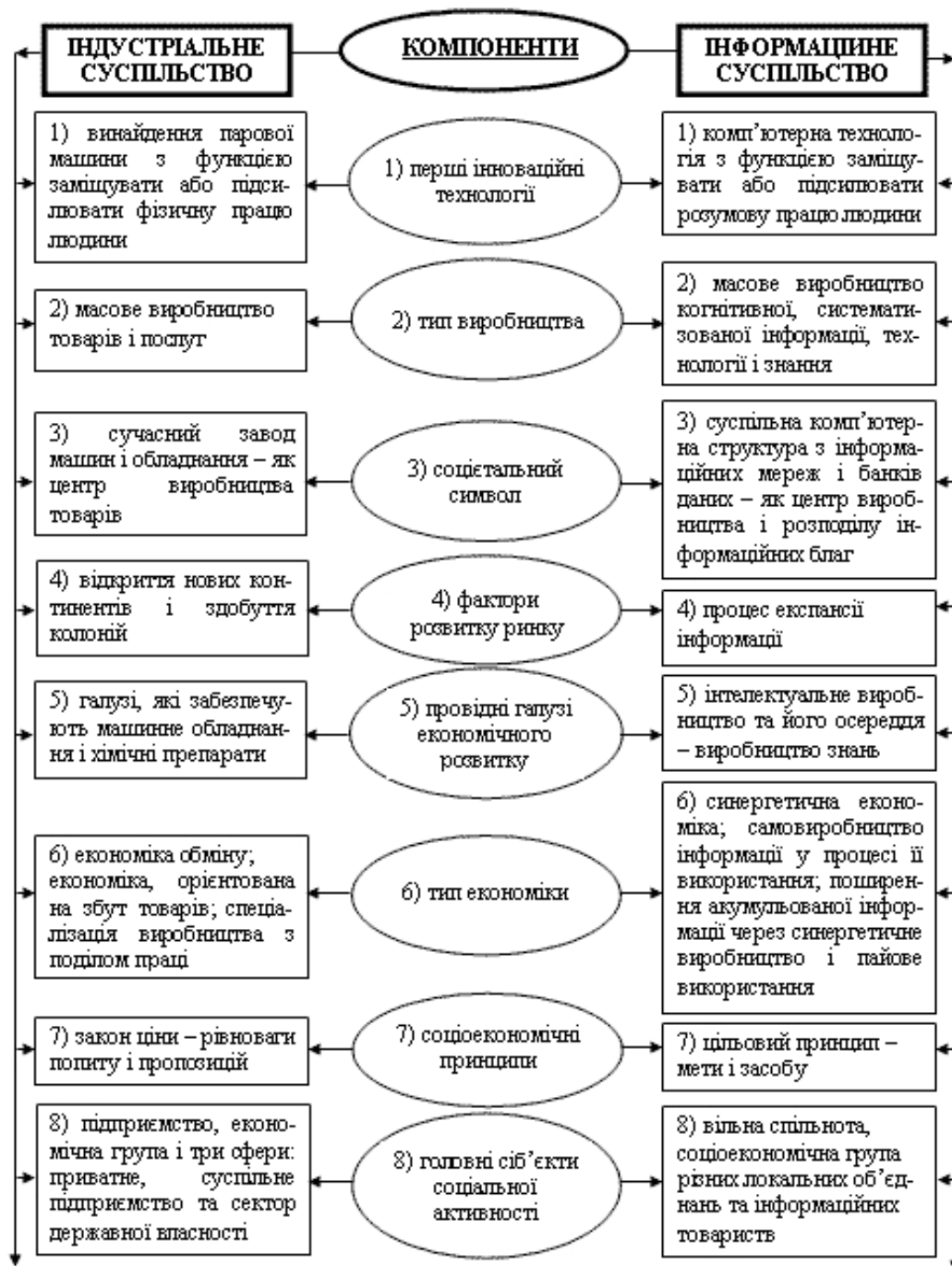


Рис. 2. Порівняльний аналіз індустріального та інформаційного суспільства (за Й. Масудою)

Термін "інформаційне суспільство" [5, 9] пов'язується з іменами японських вчених Ю. Хаяші та Й. Масуди і датується початком 1960-х років. Зокрема, праці Й. Масуди "Комп'ютопія" (1966 р.) "Інформаційне суспільство як постіндустріальне суспільство" (1981 р.) та "Гіпотези щодо генезису "Гомо інтеліджес" (1985 р.) стали в Японії і на Заході майже хрестоматійними. У вітчизняній науковій і навчальній літературі все ще бракує аналізу ідей вченого з використанням та наведенням основних положень його праць. Й. Масуда був безпосередньо причетний до вироблення практично всіх програм "японської" моделі інформаційного суспільства, зокрема таких, як "Японське інформаційне суспільство: теми і підходи" (1969 р.), "Контури політики сприяння інформатизації японського суспільства" (1969 р.), "План інформаційного суспільства" (1971 р.), "План створення інформаційного суспільства – національна мета до 2000 року" (1972 р.).

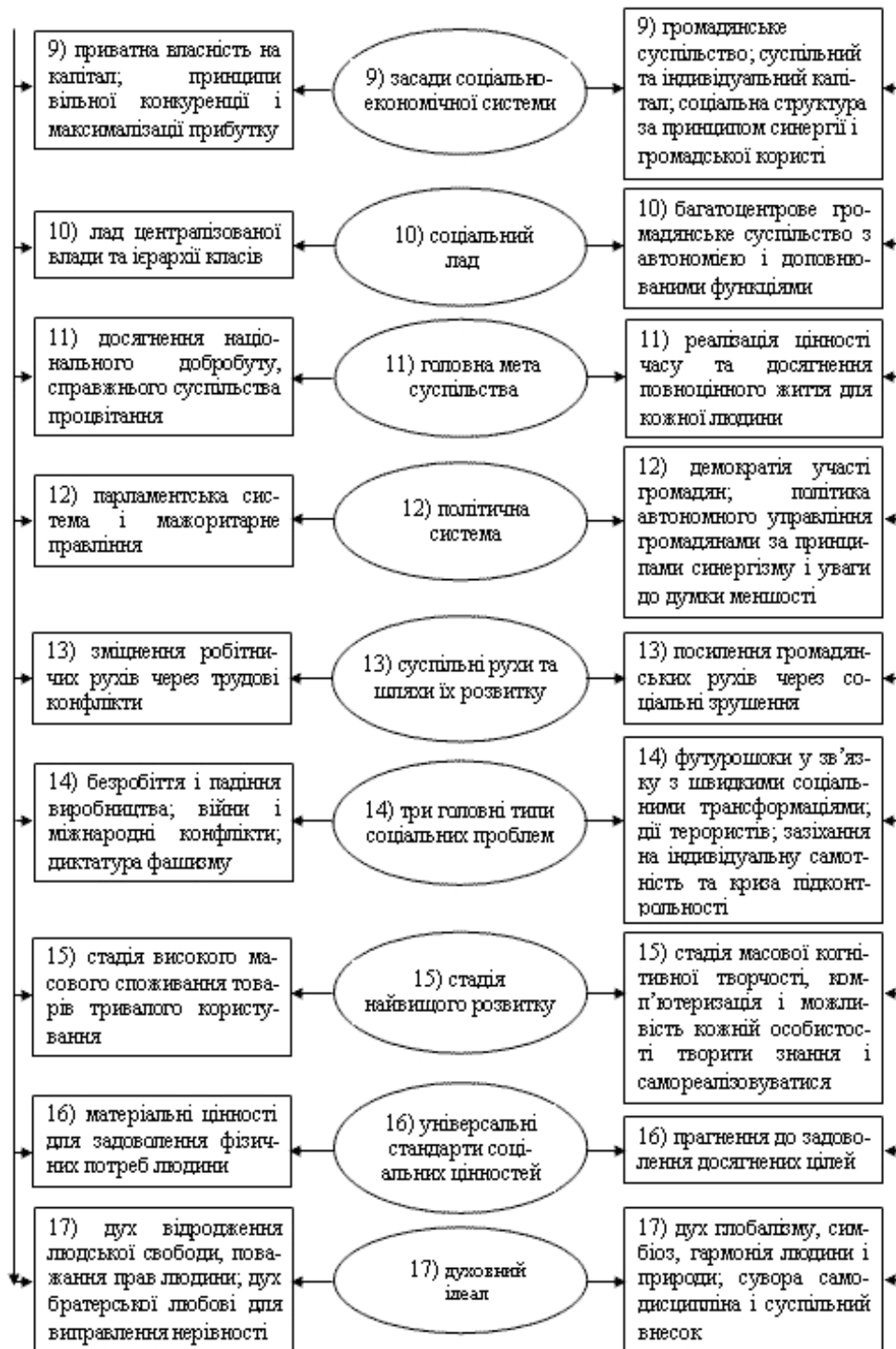


Рис. 2. (Продовження) Порівняльний аналіз індустріального та інформаційного суспільства (за Й. Масудою)

Глибокі знання про сутність теорії Й. Масуди та "японської" моделі інформаційного суспільства мають стати в нагоді Україні, зокрема у її прагненні вибудувати теорію власного інформаційного суспільства, його формування та входження у глобальне інформаційне суспільство. Цінність "комп'ютопії" полягає в тому, що в ній Й. Масуда, по-перше, обґрунтував та узагальнив основні характеристики інформаційного суспільства:

- глобалізм, вихід людства на космічний рівень свідомості;
- світовий симбіоз людства і природи;
- перехід до існування людства у глобальному інформаційному просторі.

По-друге, вчений сформулював принципи концепції "глобальної комп'ютопії", два з яких стосуються політико-правової сфери, а ще один – сфери етики і моралі. Це, зокрема:

- "свобода ухвалення рішень і рівність сприятливих можливостей для всіх";
- "функціональна соціальна воля панівних сил, сил влади";
- "відродження теологічного синергізму людства і Бога".

По-третє, Й. Масуда дав порівняльний аналіз індустріального та інформаційного суспільства, що виростає з нього. Показово, що майже половина з них стосуються соціально-політичної сфери.

Особливої уваги заслуговують п'ять із сімнадцяти наведених у схемі компонентів. Всі вони сформульовані настільки чітко і коректно, що не потребують особливих роз'яснень, за винятком окремих уточнень та коментарів.

По-перше, це 9-й компонент таблиці, в якому стверджується: в індустріальній системі приватного підприємництва панують власність на капітал, вільна конкуренція і максималізація прибутку.

В інформаційному ж суспільстві як соціально-економічна система виступатиме вільне громадянське суспільство, для якого характерне верховенство його інфраструктури (де об'єднано всі типи капіталу: суспільний, індивідуальний та орієнтований на знання), в якому буде втілено принцип синергії і громадської користі". Найбільшу цінність становить положення про майбутнє "вільне громадянське суспільство", яке нині досить успішно функціонує в усталених демократичних суспільствах і формування якого нарешті розпочалося в Україні.

Як відомо, інформаційна сфера є складовою єдиного інформаційного простору соціуму разом із техносферою і семіосферою. В умовах інфосфери формуються нові соціально-інформаційні організації та інститути, що є невід'ємними елементами соціально-комунікаційного середовища. Саме тому це середовище доцільно розглядати як умовну модель, що гарантує єдність мінімум двох складових: інформаційного простору й інформаційного середовища. Зазначене потребує різних підходів до формування розвинутого комунікаційного середовища: по-перше, ресурсного, або технологічного (зберігання і циркуляція інформації для певних суспільних завдань); по-друге, соціокультурного (засіб комунікації та передачі, всі фази інформаційного обміну в суспільстві тощо).

З урахуванням взаємозумовленості цивілізаційного та інформаційного процесів, Д.С. Робертсон (США) запропонував таку формулу: «цивілізація – це інформація». Основуючись на кількісних показниках математичної теорії інформації, він поділяє цивілізації за кількістю та ємністю інформації, що постійно виробляється і циркулює в суспільстві.

Оскільки інформаційне суспільство – це, по суті, новий ступінь прогресу, то комп'ютеризація, інформаційна революція стають вирішальними чинниками інтелектуалізації, глобалізації та інтернаціоналізації людської діяльності в соціумі. В інформаційно-комунікаційній сфері суспільства нині особливе місце посідає комп'ютерна комунікація (інтернет-спілкування). Комп'ютери зі звичайного засобу спілкування перетворюються на один із основних способів комунікаційної взаємодії. На думку А.В. Соколова, головною відмінністю комп'ютерної фази комунікації є саме діалог «людина – ЕОМ», який орієнтований на численні одночасні потоки інформації, котра трансформується в знання. За характером, джерелами спілкування та каналами комплексного відображення інформації сучасні комунікативні стратегії базуються на активному символічному використанні інформаційних і телекомунікаційних технологій. Поєднуючи інструментальні і функціональні комунікаційні дії забезпечують новий тип спілкування людини, культури, соціуму, а саме: віртуальність, інтерактивність, гіпертекстуальність, глобальність, креативність, анонімність, мозаїчність.

Виникнення специфічного паралельного цифрового простору (електронна форма комунікацій) зумовлює віртуальність комунікаційних процесів, коли електронне спілкування, на відміну від усної або документальної форми комунікації, відбувається у віртуальному інформаційному просторі глобальної комп'ютерної мережі.

Інтерактивність виявляється в розвитку гіпермедіа, що разом із мас-медіа є універсальним посередником комунікаційного соціального спілкування в різних сферах суспільного життя.

Гіпертекстуальність розглядається як нова текстуальна парадигма та спосіб комунікації в суспільстві, орієнтовані на численні одночасні потоки інформації. Гіпертекст переходить в інтернет як пам'ять, загальнодоступний засіб створення, збереження, передачі даних, об'єднує всі інформаційні потоки біт в єдиному інформаційному комунікаційному середовищі, забезпечує глобальний характер спілкування. Інтернет стає епіцентром розвитку сучасної організації соціуму.

Глобалізація комунікації усуває просторово-часові обмеження комунікативної взаємодії, сприяє формуванню мегасуспільства.

Креативність у віртуальному спілкуванні є класичним прикладом виявлення людиною максимальних можливостей для конструктивної діяльності у віртуальному середовищі як новому типі комунікативного співтовариства.

Зазвичай, спілкування в режимі on-line відбувається анонімно, але, на відміну від преси, радіо і телебачення, в яких інформація транслюється від комунікатора до комуніканта, в інтернет-спілкуванні відбувається в такий спосіб «комунікаційна взаємодія – комп'юнікація».

Мозаїчність у соціокультурному комунікаційному просторі характеризується хаотичністю різноманітних знансєвих елементів, надмірністю комунікації в сучасному віртуалізованому інформаційному суспільстві. Сукупність комунікаційних типів, видів, форм соціального спілкування в інформаційному суспільстві доводять значення єдності взаємовідносин суб'єктів комунікаційних процесів як найважливішого фактора ефективності результатів практичної діяльності, відповідно до цілей і завдань цивілізаційного розвитку людства.

Аналізуючи соціальні ієрархії в різні історичні періоди розвитку інформаційного суспільства,

можна спостерігати зростання соціального значення статусу індивіда, зумовленого його функціонально прагматичними, комунікативними, когнітивними і компетентнісними характеристиками як комуніканта сучасного середовища. При цьому значимість соціальної комунікації, процесів, тенденцій у розвитку комунікаційного середовища взагалі пов'язується із соціалізацією індивіда, розвитком його здібностей, духовних потреб та акумуляцією культурного, історичного глобального досвіду.

Висновки. Таким чином, особливості еволюції інформаційно-комунікаційного сучасного середовища (глобалізація, розвиток комунікаційних технологій, мережових мультимедійних цифрових засобів зв'язку) є підтвердженням ефективності комунікації з точки зору історії, теорії, практики інформаційного ноосферогенезу. За таких умов еволюцію комунікаційного середовища слід розглядати як феномен комунікативної взаємодії і гармонійного існування людських спільнот та найважливіший чинник розвитку інформаційного суспільства. Водночас зазначена проблема потребує подальшого дослідження концептуальних питань еволюції комунікаційного середовища інформаційного суспільства: вивчення засобів, змісту, форм організації, ефектів, наслідків трансформації соціально-комунікаційних структур в умовах інформаційного суспільства використання сучасного національного і зарубіжного досвіду формування і практичного застосування інформаційно-когнітивних знань у соціально-комунікаційних процесах; визначення актуальних завдань та стратегій оптимізації комунікаційного середовища інформаційного суспільства тощо.

Література

1. Данільян В.О. Інформаційне суспільство та перспективи його розвитку в Україні (соціально-філософський аналіз) : монографія / В.О. Данільян. – Х. : Право, 2008. – 184 с.
2. Каныгин Ю.М. Введение в социальную когнитологию / Ю.М. Каныгин, Ю.И. Яковенко. – К. : Наук, думка, 1992. – 108 с.
3. Концепція реформування системи фінансування та управління науковою і науково-технічною діяльністю [Електронний ресурс] : розпорядження Кабінету Міністрів України від 08.10.12 р. № 780-р. – Режим доступу : <http://www.zakon3.rada.gov.ua/laws/show/780-2012-%D1%80/para8#n8>
4. Концепція розвитку електронного урядування в Україні [Електронний ресурс] : розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 вересня 2017 р. № 649-р – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/649-2017-p>
5. Масуда Й. Комп'ютопія / Масуда Й. ; перекл. з англ. В. Ляха // Філософська і соціологічна думка. – 1993. – № 6. – С. 36–50.
6. Про Основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки : закон України // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2007. – № 12. – С. 102.
7. Соціологія : підруч. для вузів / ред. О.О. Пісня. – К. : Центр учб. л-ри, 2009. – 807 с.
8. Тарасенко Р.Б. Інформаційне право : навчально-методичний посібник / МВС України, Луган. держ. ун-т внутр. справ ім. Е.О. Дідоренка. – Луганськ : РВВ ЛДУВС ім. Е.О. Дідоренка, 2010. – 512 с.
9. Masuda Y. The Information Society as Postindustrial Society / Y. Masuda. – Washington : Word Future Soc., 1983. – 523 p.
10. Sauter M. Communication Systems for the Mobile Information Society / M. Sauter. – 2006. – 382 p.
11. Wood A.F. Online Communication: Linking Technology, Identity, and Culture / A.F. Wood, M.J. Smith. – 2004. – 240 p.
12. WikiLeaks [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://wikileaks.org>.

References

1. Danylyan V.O. Information society and aspects of its development in Ukraine (socio-philosophical analysis): monograph / V.O. Danilian - Kharkiv: Pravo, 2008, 184 p.
2. Kanygin Yu.M. Introduction to social cognitive science / Yu.M. Kanygin, Yu.I. Yakovenko - Kiev: Naukova dymka, 1992. - 108 p.
3. Concept of reforming the financial system and management of scientific and scientific-technical activities: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 08.10.12 p. № 780-p. URL: <http://www.zakon3.rada.gov.ua/laws/show/780-2012-%D1%80/para8#n8>
4. Concept of the e-governance development in Ukraine: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated September 20, 2017, No. 649-p. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/649-2017-r>.
5. Masuda Y. Computer / Masuda Y. - Translation. from english V. Lyakhha // Philosophical and sociological thought. - 1993. - No. 6. - P. 36-50.
6. About the Basic principles of information society development in Ukraine for 2007-2015. Law of Ukraine // Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine (BVR), 2007, No. 12, p.102.
7. Sociology: textbook for high schools / ed. O.O. Pisnia - Kiev: Center of teaching literature, 2009. - 807 p.
8. Tarasenko R. B. Information Law: Educational-methodical Manual / Ministry of Internal Affairs of Ukraine, Lugansk. state university of internal affairs by E.O.Didorenko - Lugansk: RVV SUIA by E.O.Didorenko, 2010. - 512 p.
9. Masuda Y. The Information Society as Postindustrial Society / Y. Masuda. - Washington: Word Future Soc., 1983. - 523 p.
10. Sauter M. Communication Systems for the Mobile Information Society / M. Sauter. - 2006 - 382 p.
11. Wood A.F. Online Communication: Linking Technology, Identity, and Culture / A.F. Wood, M.J. Smith. – 2004. - 240 p.
12. WikiLeaks. URL: <http://wikileaks.org>.

Рецензія/Peer review : 05.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Інтернет речей активно впроваджується в сучасному інформаційному просторі. Інтернет речей – це об'єднання великої кількості пристроїв з різним за обсягом програмним забезпеченням автономних пристроїв. В сучасному інформаційному середовищі визначають п'ять типових видів зловмисників, що можуть взаємодіяти з IoT. В статті наведено основні засади забезпечення безпеки IoT, що мають бути забезпечені в ході проектування та експлуатації систем IoT.

Ключові слова: безпека, інформаційний простір.

N.V. GRYPYNSKA, N.I. PRAVORSKA

Khmelnytsky National University

IMPLEMENTATION OF CYBER SECURITY OF INTERNET-OF-THING

Internet of things is actively being implemented in the modern information space. Internet of things are a combination of a large number of devices with different sizes of autonomous software. In today's information environment, there are five typical types of intruders that can interact with IoT. The article provides the basic principles of security of IoT that must be ensured in the design and operation of IoT systems. Analysis of cyber attacker shown. Also discovered problems with authorisations in IoT devices with common types of logins and passwords. Magnificent increasing of IoT and IoT's net bring new types of botnets and attacks.

It is shown common rules to increase security level of IoT devices to protect IoT and IoT nets against attacks. Due to increasing of program code size new technologies to check IoT's codes required. Certification can be a key to reach required level of safety and protection level.

Keywords: security, information space.

Вступ. Кевін Ештон, що є співзасновником Auto-ID Center, першим ввів термін «Інтернет Речей», саме так він назвав свою доповідь для «Procter & Gamble» в 1999 році. Це була спроба впровадити нову ідею радіочастотної ідентифікації (RFID) в ланцюг поставок виробничих товарів, а в результаті привернуло гарячу увагу до самої ідеї підключення до мережі нових типів пристроїв.

Розробками в сфері досліджень і стандартизації інтернету речей займаються багато країн на рівні національних ініціатив, наприклад ANSI (США), BSI (Великобританія), ETSI (Європа), а також на рівні міжнародному: ITU, ISO, IEC.

У сфері бізнесу існує EPCglobal – ініціатива GS1 з розвитку індустрії стандартів для електронного коду продукту (EPC), створена для підтримки використання RFID у виробництві, що дозволить у майбутньому об'єднати в мережу масову продукцію для постійного моніторингу та контролю якості споживчих товарів.

Інтернет речей (Internet of things, IoT) має великий вплив на наше життя – 5 мільярдів пристроїв зараз і 25 мільярдів до 2020 року [1] – від управління інфраструктурою та фабриками до машин легеневого серця та безлічі інших медичних пристроїв у наших лікарів офіси та лікарні, пристрої в наших автомобілях та будинках. Станом на 2018 рік вже вироблено більше 50 мільярдів контролерів типу ARM різними

Але це не безпечно. Одна з оцінок розвитку інтернету речей надає економічний ефект в межах 3,9 трлн до 11,1 трильйона доларів на рік до 2025 році. Фактичний вплив буде залежати від прийняття рішень підприємствами та споживачами. Безпека стане ключовим елементом цього прийняття – і вартості бізнесу.

Захист рішень на базі IoT від тих, хто планує завдати шкоди, буде мати вирішальне значення для зростання IoT, а також для особистої та ділової безпеки.

Постановка проблеми дослідження

Атакуючі користувачі, ймовірно, шукатимуть можливості поставити під загрозу критичну інфраструктуру кожної країни, а також пов'язану набагато ширшими зв'язками екосистему споживчих та промислових пристроїв, відомих як інтернет речей. Інтернет речей з'єднує мільярди нових пристроїв з інтернетом, але це також розширює потенціал атаки кібер-дійових осіб проти мереж та інформації. Дослідники з безпеки продовжують розкривати вразливі місця у споживачських продуктах, включаючи автомобілі та медичні прилади. Якщо атакуюча сторона отримає можливість створювати значні фізичні ефекти в обраній країні через кібер-засоби, вони отримають нові можливості для примусу та стримування. Наприклад, кібератака на українську енергетичну мережу в 2015 році призвела до відключення живлення протягом декількох годин.

Широке включення "розумних" пристроїв у повсякденні об'єкти – це зміна того, як люди та машини взаємодіють між собою та навколишнім світом, часто підвищуючи ефективність, зручність та якість життя. Їх розгортання також приводило до появи нових вразливих місць як в інфраструктурі, яку вони підтримують, на яку вони покладаються, так і на процеси, якими вони керують.

Кібер-хакери вже використовували пристрої IoT для розповсюджених атак на відмову від обслуговування (DDoS), і ми оцінюємо їхнє продовження. У майбутньому державні та недержавні агенти скоріше за все використовуватимуть пристрої IoT для підтримки розвідувальних операцій або внутрішньої

безпеки або для доступу або нападу цільових комп'ютерів мережі.

Проблема безпеки в інтернеті речей

Мільйони пристроїв вже підключені через інтернет та в приватних хмарах. Gartner та інші прогнозують до 2020 року 25 мільярдів підключених пристроїв. При першій появі інтернету речей в 2013 році, навіть поважна безпека Oxford Dictionary як предмет свого першого прикладу, що визначає Internet of Things наступним чином [2]: "Взаємозв'язок через інтернет обчислювальних пристроїв, вбудованих в повсякденні об'єкти, що дозволяють їх для надсилання та отримання даних. "Якщо одне не може перешкоджати інтернету речей, щоб трансформувати те, як ми живемо та працюємо, це буде розбиттям безпеки". Два останні прикладу демонструють вразливі місця у промислових та комерційних програмах.

1) Сталеві млини: нападники вразили металургійний комбінат у Німеччині, маніпулюючи та руйнуючи системи управління та запобігаючи зупиненню доменної печі регульованим способом, що призвело до "масових пошкоджень". Нападники використовували атаку з метою отримання доступу через ділову мережу заводу, потім прокладали шлях до виробничих мереж, що контролювали устаткування підприємства [4]

2) комерційна посудомийна машина, яка може бути підключена до інтернету, включає в себе вбудований веб-сервер, який "прослуховує порт 80 і схильний до атаки переходу по каталогу; отже, неаутентифікований зловмисник може використати цю проблему для доступу до конфіденційної інформації для наступних атак" [5].

Доповідь Конгресу дослідницьких служб (CRS) від 2014 року до Конгресу США визначила п'ять типів зловмисників:

1) "Кібертеррористи": "Спонсоровані державою та недержавні актори, які беруть участь у кібератаках як форма війни. Транснаціональні терористичні організації, бойовики та джихадисти використовували інтернет як інструмент планування атак, радикалізацію та вербування, метод розповсюдження пропаганди та засоби комунікації".

Експеримент DHS Ауґога передбачав комп'ютерну атаку на систему управління генератором енергії, яка призвела до припинення операцій та знищення обладнання.

2) Кібершпигуни: "Особи, які викрадають секретну або конфіденційну інформацію, якою користуються уряди або приватні корпорації, щоб отримати конкурентну стратегічну, безпечну, фінансову чи політичну перевагу". У звіті ФБР за 2011 рік зазначено: "Компанія стала жертвою вторгнення та втратила 10 років вартості досліджень і розробок, вартість якої становила 1 мільярд доларів – майже на добу".

3) Кіберзахоплення: "Особи, які займаються незаконними кібератаками для отримання грошової вигоди". Важко оцінити, але щорічні глобальні витрати для приватних осіб складають сотні мільярдів доларів (і втрата довіри клієнтів).

4) Кіберагенти: Кіберагенти – це агенти або квазіагенти національних держав, які розвивають свої можливості та здійснюють кібератаки для підтримки стратегічних цілей країни". У серпні 2012 року серія кібер-атак була спрямована проти Саудівської фірми Арамко, найбільшого у світі виробника та нафтогазової промисловості. Напади спричинили спустошення 30 тисяч комп'ютерів компанії, а сам програмний код вірусу, мабуть, покликаний порушити або зупинити виробництво нафти. Деякі співробітники служби безпеки заявляють, що Іран, можливо, підтримував цю атаку.

5) Кібер-хактивісти: "Особи, які виконують кібер-атаки для задоволення, або за філософськими чи іншими негрошовими міркуваннями".

Порівняння атак на пристроях та системах IoT

Атака може бути спрямована на рішення на базі IoT – викрасти дані з пристроїв або серверів або призвести до неправильного поведіння пристроїв та заподіяння шкоди пристрою. Також може бути атака з системи IoT за допомогою інших пристроїв IoT для запуску атак на інші IoT пристрої або на інший сегмент інтернет мережі. Оскільки "речі" пов'язані, IoT включає в себе всю інфраструктуру будь-якого рішення IoT, а не лише пристроїв, а також:

- шлюзи, сервери та канали зв'язку, які забезпечують, контролюють та управляють речами;
- всі персональні комп'ютери в цих мережах, з їх вразливими місцями, фактично є точкою доступу для шкідливих програм, щоб атакувати IoT.

Mirai-botnet – масова атака в IoT мережі

В серпні 2016 року було зафіксовано масове ураження Mirai – шкідливим програмним забезпеченням, яке сканує інтернет речей (наприклад, камеру відеоспостереження, дитячий монітор, відеореєстратор, маршрутизатор), яка використовує один із 62 відомих за замовчуванням імен та паролів та їх комбінацій (наприклад, root / root, admin / admin, root / admin і т. д.), атакує пристрій та заражає його Mirai-вірусом для подальшого розповсюдження. Після зараження пристрій відслідковує сервер команд і керування, який керує пристроєм, щоб почати атаку на відмову в обслуговуванні (DoS).

Примітно, що вірус Mirai уникає пристроїв з адресами, виділеними Міністерству оборони США, Поштової службі США, інтернет-корпорації присвоєння імен та номерів (IANA), GE та HP; виявляє "конкуруюче" шкідливе програмне забезпечення та вилучає його з пам'яті; і блокує віддалене адміністрування портів, намагаючись уникнути перешкод від іншого шкідливого програмного забезпечення або відновлення. Після встановлення ботнету Mirai, зловмисник запускає атаку розподіленої служби відмови (DDoS: атака DoS від багатьох машин), яка підриває ціль, перевантажуючи ресурси, щоб завадити

обслужити служити важливі запити [7–10].

22 вересня 2016 року вірус Mirai був використаний для запуску великої атаки DDoS яка оцінена в 620 гігабіт на секунду, проти відміченого сайту безпеки KrebsOnSecurity, змусивши його відключитись протягом чотирьох днів. 21 жовтня 2016 року Mirai був використаний для запуску DDoS-атаки з ~ 100,000 зловмисних кінцевих точок (переважно IoT-пристроїв) (камери відеоспостереження) на ключовому інтернет-провайдері компанії Dyn Corporation з оцінкою пропускної здатності 1,2 терабіти в секунду. Ця атака припинила понад три години роботу Airbnb, Amazon, BBC, CNN, DirecTV, Etsy, Fox News, GitHub, Netflix, NHL, Reddit, The New York Times, PayPal, Pinterest, Spotify, Starbucks, Tumblr, Twitter і багато інших.

У листопаді 2016 року атака Mirai призвела до відключення маршрутизаторів для 900 000 клієнтів Deutsch Telekom у Німеччині. Це лише деякі з атак на Mirai нападників викликаних копіюванням включені шляхом випуску вихідного коду для Mirai на форумі хакерів, а потім на популярному сайті open source розміщення коду GitHub, і лише один приклад з десятків основних бот-мереж з тисячами варіантів.

Найперші ботнети з'явилися в 1999 році і використовували інтернет-реляційний чат для спілкування з їхніми серверами. Крім атак DDoS, бот-мережі використовуються для розповсюдження спаму та іншого шкідливого програмного забезпечення, вилучення конфіденційної інформації, такої як інформація про кредитні картки, рекламу на завантаження та інші сайти, а також генерування біткойнів [9].

Botnot Pontomur, згідно з детальним 40-сторінковим звітом від компанії Fox IT, є основою для великої екосистеми із добре утримуваною інфраструктурою та підтримкою в інтернеті. Він включає принаймні 25 плагінів та 4000 варіантів. Очікується, що в 2011 році на її піці активності вдалося контролювати 2,4 мільйони машин і вкрати мільйони доларів.

Цей аналіз Mirai та інших бот-мереж ілюструє кілька моментів:

- Зловмисне програмне забезпечення на пристроях IoT може використовуватися для створення атак на інші пристрої в інтернеті, включаючи сервери та інфраструктуру інтернету.
- Код атаки може бути досить складним, включаючи наступальні заходи, спрямовані на інше зловмисне програмне забезпечення та захисні заходи для запобігання його вилученню, його захист та плутанини аналітиків.
- Результати можуть бути надзвичайно руйнівними та мати фінансові наслідки.

Mirai-botnet – масова атака в IoT мережі

Наприкінці 2016 р. Д-р Йоганнес Ульріч [16] в інтернет-Storm Center здійснив простий експеримент. Доктор Ульріч підключив відеореєстратор із загальним ім'ям користувача та паролем до звичайного кабельного модема і захопив всі пакети, що йдуть і виходять з відеореєстратора (блокування будь-якого вихідного трафіку, який би атакував інші системи) (рис. 1).

Перша спроба входу в відеореєстратор сталася в першу хвилину підключення. Протягом першої години там були 54 унікальних спроби, приблизно одна за хвилину.

Атака на пристрій відбувалась за типовим алгоритмом:

- Спроба декількох логінів, поки не буде успішною.
- Запуск команди, щоб спробувати виявити з'єднання з загальним підключенням.
- Спроба створити бінарний файл. Якщо це вдається, завантажить шкідливе програмне забезпечення (наприклад, бот).
- Сканування для інфікування інших (у цьому випадку з швидкістю > 100 з'єднань за секунду).
- З'єднання зі своїм майстром.

Основні засади забезпечення безпеки

Проектування систем IoT для забезпечення безпеки – це спосіб життя з завданнями на всіх етапах життєвого циклу. Більшість із цих завдань значною мірою пов'язані з дизайном та розробкою програмного коду. Отже, основні вимоги що потрібно розглянути, це: 1) запити; 2) загрози, які ви хочете захистити.

Ті, хто пов'язаний з безпекою, повинні збалансувати захист від витрат та час на його забезпечення. Але занадто багато компромісів або забагато винятків призведуть до вразливості системи безпеки платформи IoT. Пристрій запуску повинен бути одним із кінців ланцюжка довіри переходячи від пристрою до серверних додатків. А. Справжня безпечна завантаження вимагає апаратного забезпечення.

1. Комунікаційні технології. Шифрування сьогодні є прийнятною частиною будь-якого рішення для безпечного IoT. Але шифрування є складним і має наслідки від апаратного забезпечення до ключового управління. Проте час і витрати на розробку та експлуатацію безпечних комунікацій, достатніх для вирішення запланованих загроз, можна легко занизити.

2. Послуги, мови та інструменти. Слабкі сторони програмного забезпечення у системі та код є однією з трьох чудових дверей, що призводять до використання вразливостей в роботі IoT. Неадекватні аналізи загроз або вимоги, а також слабкі або невиконані політики та процедури часто призводять до

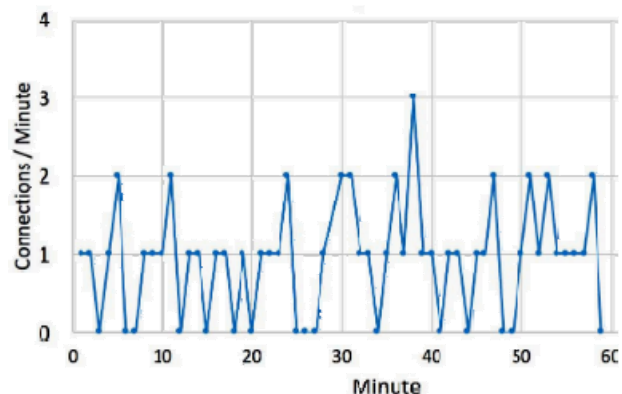


Рис. 1. Підключення до відео реєстратора [16]

слабкості програмного забезпечення. Отримання та ретельне використання служб, пов'язаних із безпекою, мов, стандартів дизайну та кодування, а також інструменти, які їх підтримують, можуть здаватися дорогими, доки вартість не призведе до серйозного порушення, якого можна було б запобігти.

3. Сертифікація. Сертифікація безпеки може вимагатись для певного напрямку діяльності. Навіть якщо це не потрібно зараз, усвідомлюючи вимоги щодо сертифікації та включення корисних елементів у практику розробки, вже зараз потрібно створювати безпечні продукти та потенційно підготувати їх до вимог сертифікації в майбутньому

4. Промислова кооперація. Боротьба з хакерами – це асиметрична війна. Співпраця щодо виявлення дефектів, відстеження та спільного використання розробників, навіть конкурентів, стала прийнятною практикою. Так NIST Cybersecurity Framework призвела до розробки основ для організації зусиль щодо впровадження та адаптації практик безпеки в організації.

Незалежно від того, написано цілком однією організацією або в тому числі сторонні операційні системи, проміжне програмне забезпечення, бібліотеки або програми, які використовує продукт, навіть "малі" пристрої можуть мати великі коди.

Кардіостимулятор, що керує серцем людини, може мати 80 000 рядків коду; підключений термостат може використовувати Linux з повним стеком інтернету плюс його додаток; сучасний автомобіль містить понад 100 мільйонів рядків коду. На рис. 2 показано обсяги програмного забезпечення, що використано в ПЗ різних систем [18]

Загрози для безпеки мереж зв'язку поширюються і на IoT, які побудовані на них. До них відносяться: несанкціонований доступ, перехоплення даних користувача, порушення конфіденційності, цілісності інформації, DoS-атаки, віруси, експлойтери, мережеві черв'яки тощо. Крім того, існують міжмережеві проблеми аутентифікації, які можуть бути причиною DDoS та DoS-атак.

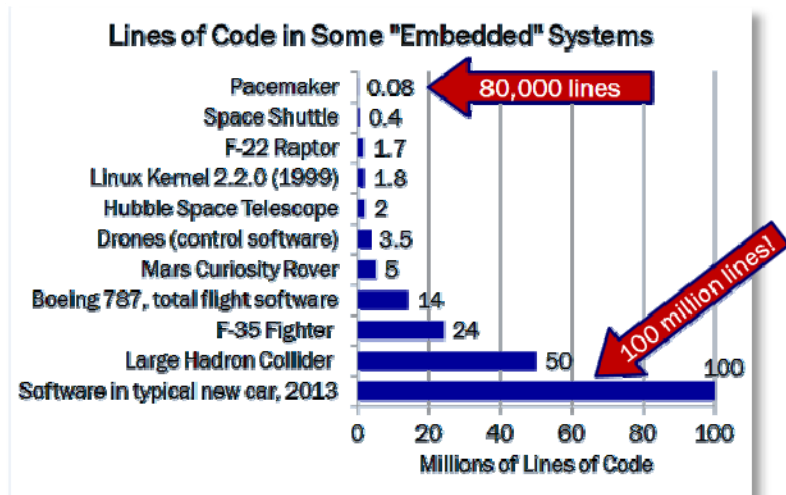


Рис. 2. Типовий обсяг програмного забезпечення у рядках програмного коду [18]

Висновки

Для інтернету речей стоять ще більш складні проблеми забезпечення безпеки в порівнянні з тими, які характерні для мереж зв'язку. До них додаються можливі проблеми масштабованості мережі, викликані мало передбачуваним обсягом передачі даних від великого числа вузлів, ненадійність програмного забезпечення, тощо.

Широке застосування інтернету речей є результатом інтеграції комп'ютерних технологій, технологій зв'язку і різних областей промислових галузей. Крім порушення інформаційної безпеки традиційних мереж зв'язку (в результаті ризику підслуховування, спотворення інформації, розкриття інформації) пристрої та мережі інтернету речей стикаються з додатковими проблемами безпеки на прикладному рівні – при використанні хмарних обчислень, обробці інформації, забезпеченні прав на інтелектуальну власність, захист приватності і т.д.

Мережевий рівень забезпечує доступ, передачу інформації, її обробку та зберігання. Він складається з рівня доступу (мобільні мережі зв'язку) і основного рівня обміну (інтернет, NGN, віртуальні приватні мережі). Більшість сенсорних мереж використовують бездротові мережі зв'язку: персональні мережі (WPAN), локальні мережі (WLAN), міські мережі (WMAN), глобальні мережі (WWAN), а також супутникову мережу. Сенсорні мережі в IoT використовують протоколи зв'язку на основі IP.

У найближчому майбутньому середовище IoT буде безпосередньо причетне до життя простих людей та до бізнесу і державної діяльності. Отже, таку складну структуру необхідно будувати з урахуванням сучасних вимог до інформаційної безпеки. До питання забезпечення захищеності інформації в межах IoT необхідно підходити комплексно і особливо приділяти уваги таким аспектам як безпека кінцевих інформаційних систем і безпека їх взаємодії.

Література

- Source: Gartner, Inc. 2014. "Gartner Says 4.9 Billion Connected 'Things' Will Be in Use in 2015." Gartner Newsroom. November 11. <http://www.gartner.com/newsroom/id/2905717>
- Oxford Dictionaries. Accessed April 29, 2017. <https://en.oxforddictionaries.com/>
- Zetter, Kim. 2015. "A Cyberattack Has Caused Confirmed Physical Damage for the Second Time Ever". Wired. January 8. <https://www.wired.com/2015/01/german-steel-mill-hack-destruction/>. Taken from Die Lage der

IT-Sicherheit in Deutschland 2014 (The Situation of IT Security in Germany in 2014).

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI, similar to the Computer Security Division of the Information Technology Laboratory of US NIST).

<https://nvd.nist.gov/vuln/detail/CVE-2017-7240>.

Congressional Research Service. 2014/ The 2013 Cybersecurity Executive Order: Overview and Considerations for Congress, CRS Report R2984. <http://www.fas.org/sgp/misc/R42984.pdf>

Wikipedia. "Mirai (malware)." Modified Apr 12, 2017. [https://en.wikipedia.org/wiki/Mirai_\(malware\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Mirai_(malware))

Imperva Incapsula . 2016. "Breaking down Mirai: An IoT DDoS Botnet Analysis" (blog entry). October 26. <https://www.incapsula.com/blog/malware-analysis-mirai-ddos-botnet.html>.

Barker, C.J. 2016. "Mirai (DDoS) Source Code Review. October

<https://medium.com/@cjbarker/mirai-ddos-source-code-review-57269c4a68f>

Krebs, Brian. 2017. "3 How Google Took on Mirai." KrebsOnSecurity . (blog). February 17. (Includes a full analysis.) <https://krebsonsecurity.com/tag/ddos/>.

Whittaker, Zack. 2016. "Mirai botnet attack hits thousands of home routers, throwing users offline." November 29. <http://www.zdnet.com/article/mirai-botnet-attack-hits-thousands-of-home-routers-throwing-users-offline/>

Malwareint. This site tracks several other botnets as well. <https://intel.malwaretech.com/botnet/mirai/?t=24h&bid=all>

Zawozni, Avishay and Dimi Bekerman . 2016. "1337: 650 Gbps DDoS Attack from the Leet Botnet." ImpervaIncapsula (blog). December 26. <https://www.incapsula.com/blog/650gbps-ddos-attack-leet-botnet.html>.

Gamer, Noah. 2015. "The state of botnets in late 2015 and early 2016." In Simply Security (blog). December 17. <http://blog.trendmicro.com/the-state-of-botnets-in-late-2015-and-early-2016/>.

Горященко К.Л. Архітектура ARM як потенційна основа грид-інфраструктури наукової бази України / К.Л. Горященко, В.П. Нездоровін, Є. Г. Махрова. Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – №1. – С. 204-208.

Ullrich, Johannes. "The Short Life of a Vulnerable DVR Connected to the Internet." SANS ISC InfoSecForums . October

Information is Beautiful. New car source: Newcomb, D. 2013. "The Next Big OS War Is in Your Dashboard." Wired. December 3. <http://www.wired.com/2012/12/automotive-os-war/>

Горященко К.Л. Ризики цілісності інформації на переносних носіях інформації / К.Л. Горященко, О.І. Полікаровських, В.Є. Гавронський, Ю.І. Сніжко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – №4. – С. 66-70.

References

1. Source: Gartner, Inc. 2014. "Gartner Says 4.9 Billion Connected 'Things' Will Be in Use in 2015." Gartner Newsroom. November 11. <http://www.gartner.com/newsroom/id/2905717>

2. Oxford Dictionaries. Accessed April 29, 2017. <https://en.oxforddictionaries.com/>

3. Zetter, Kim. 2015. "A Cyberattack Has Caused Confirmed Physical Damage for the Second Time Ever". Wired. January 8. <https://www.wired.com/2015/01/german-steel-mill-hack-destruction/>. Taken from Die Lage der IT-Sicherheit in Deutschland 2014 (The Situation of IT Security in Germany in 2014).

4. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI, similar to the Computer Security Division of the Information Technology Laboratory of US NIST).

5. <https://nvd.nist.gov/vuln/detail/CVE-2017-7240>.

6. Congressional Research Service. 2014/ The 2013 Cybersecurity Executive Order: Overview and Considerations for Congress, CRS Report R2984. <http://www.fas.org/sgp/misc/R42984.pdf>

7. Wikipedia. "Mirai (malware)." Modified Apr 12, 2017. [https://en.wikipedia.org/wiki/Mirai_\(malware\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Mirai_(malware))

8. Imperva Incapsula . 2016. "Breaking down Mirai: An IoT DDoS Botnet Analysis" (blog entry). October 26. <https://www.incapsula.com/blog/malware-analysis-mirai-ddos-botnet.html>.

9. Barker, C.J. 2016. "Mirai (DDoS) Source Code Review. October

<https://medium.com/@cjbarker/mirai-ddos-source-code-review-57269c4a68f>

10. Krebs, Brian. 2017. "3 How Google Took on Mirai." KrebsOnSecurity . (blog). February 17. (Includes a full analysis.) <https://krebsonsecurity.com/tag/ddos/>.

11. Whittaker, Zack. 2016. "Mirai botnet attack hits thousands of home routers, throwing users offline." November 29. <http://www.zdnet.com/article/mirai-botnet-attack-hits-thousands-of-home-routers-throwing-users-offline/>

12. Malwareint. This site tracks several other botnets as well. <https://intel.malwaretech.com/botnet/mirai/?t=24h&bid=all>

13. Zawozni, Avishay and Dimi Bekerman . 2016. "1337: 650 Gbps DDoS Attack from the Leet Botnet." ImpervaIncapsula (blog). December 26. <https://www.incapsula.com/blog/650gbps-ddos-attack-leet-botnet.html>.

14. Gamer, Noah. 2015. "The state of botnets in late 2015 and early 2016." In Simply Security (blog). December 17. <http://blog.trendmicro.com/the-state-of-botnets-in-late-2015-and-early-2016/>.

15. Horiashchenko K.L. Arhitektura ARM jak potencijna osnova grid-infrastrukture naukovoi bazi Ukraini / K.L. Gorjashhenko, V.P. Nezdorovin, E. G. Mahrova. Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. – 2012. – №1. – С. 204-208.

16. Ullrich, Johannes. "The Short Life of a Vulnerable DVR Connected to the Internet." SANS ISC InfoSecForums . October

17. Information is Beautiful. New car source: Newcomb, D. 2013. "The Next Big OS War Is in Your Dashboard." Wired. December 3. <http://www.wired.com/2012/12/automotive-os-war/>

18. Horiashchenko K.L. Riski cilisnosti informacii na perenosnih nosijah informacii / K.L. Horiashchenko, O.I. Polikarovskij, V.E. Gavronskij, Ju.I. Snizhko // Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. – 2008. – №4. – С. 66-70.

Рецензія/Peer review : 20.02.2018 р.

Надрукована/Printed : 12.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ОЦІНЮВАННЯ ДОСТОВІРНОСТІ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ БІОМАСИ ФІТОПЛАНКТОНУ У ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

На основі математичного моделювання та статистичної обробки спектральних характеристик коефіцієнту дифузного відбиття на поверхні природного водного середовища із завислими частинками фітопланктону отримано діаграми розмаху на робочих довжинах хвиль спектральних каналів засобу мультиспектрального екологічного контролю при зміні біомаси фітопланктону у приповерхневому шарі. Проаналізовано функції щільності ймовірності похибок, що виникають у вимірювальному каналі засобу мультиспектрального екологічного контролю. Оцінено достовірність багатопараметричного мультиспектрального контролю на основі результатів розрахунку помилок першого та другого роду і достовірності контролю у окремих спектральних каналах.

Ключові слова: мультиспектральний контроль, водні середовища, достовірність, біомаса, фітопланктон.

S.M. KVATERNIUK

Vinnitsia National Technical University

ASSESSMENT OF THE VERACITY OF MULTISPECTRAL ECOLOGICAL CONTROL OF PHYTOPLANKTON BIOMASS IN AQUATIC ENVIRONMENTS

To assess the complex impact of pollutants on aquatic ecosystems, it is possible to use methods and tools of multispectral environmental monitoring. Increase of reliability of ecological control of parameters of structural and pigment parameters of aquatic plants is necessary for maintenance of ecological safety. The aim of the paper is to evaluate the reliability of multiparametric multispectral ecological control of phytoplankton biomass in natural water media based on the results of calculation of the errors of the first and second kind and the reliability of control in individual spectral channels. Mathematical modeling of the spectral characteristics of the coefficient of diffuse reflection on the surface of an aquatic medium with suspended phytoplankton particles and statistical analysis made it possible to obtain the diffusion reflection coefficient peak scales at the working wavelengths of the spectral channels of the multispectral control. In each of the spectral channels of the monitoring tool, functions of the probability density of errors associated with the presence of noise and random interference in the CCD camera, as well as with the quantization error in the analog-to-digital conversion, were analyzed and a probability density function of the total error. In a laboratory model of the multispectral environmental control tool used LEDs with the wavelengths of 450 nm, 470 nm, 510 nm, 530 nm, 590 nm, 620 nm, 660 nm and 730 nm. Estimates of errors of the first and second kind, as well as the reliability of control in all spectral channels of the means of control. The reliability of multiparametric control of the biomass of phytoplankton from multispectral ones was calculated on the basis of the reliability of all spectral channels. When using four spectral channels, the significance of the reliability is 0.974, which makes it possible to use a method for multispectral environmental control in specialized laboratories of environmental institutions.

Keywords: multispectral control, aquatic environments, reliability, biomass, phytoplankton.

Вступ

Для оцінювання комплексного впливу забруднюючих речовин на водні екосистеми можна використовувати методи та засоби мультиспектрального екологічного контролю [1]. При цьому досліджується вплив забруднень на певні водні організми (фітопланктон, зоопланктон, вищі водні рослини тощо) та вимірюється зміна їх параметрів, що дозволяють якісно та кількісно оцінювати екотоксичність. Підвищення достовірності екологічного контролю структурних та пігментних параметрів водних середовищ необхідне для забезпечення екологічної безпеки [2]. Метою роботи є оцінювання достовірності багатопараметричного мультиспектрального екологічного контролю біомаси фітопланктону у природних водних середовищах на основі результатів розрахунку помилок першого та другого роду і достовірності контролю у окремих спектральних каналах. Для досягнення вказаної мети необхідно розв'язати такі задачі: здійснити математичне моделювання та статистичну обробку спектральних характеристик коефіцієнту дифузного відбиття на поверхні природного водного середовища із завислими частинками фітопланктону і отримати діаграми розмаху на робочих довжинах хвиль спектральних каналів при зміні біомаси фітопланктону у приповерхневому шарі; дослідити функції щільності ймовірності похибок, що виникають у вимірювальному каналі засобу контролю; оцінити достовірність багатопараметричного мультиспектрального контролю.

Математичне моделювання спектральних характеристик коефіцієнту дифузного відбиття

Спектральні характеристики коефіцієнту дифузного відбиття на поверхні водного середовища визначаються параметрами частинок фітопланктону. Використовуючи методіку математичного моделювання розсіювання світла у малокутовому наближенні у багатопараметричних неоднорідних біологічних середовищах на основі моделей представлених у роботах [3, 4] розв'яжемо пряму задачу визначення спектральних характеристик природних водних середовищ при зміні біомаси фітопланктону від 17,7 до 35,4 мг/л. При цьому прийmemo, що пігментні параметри фітопланктону мають нормальний закон розподілу. Зокрема, співвідношення між хлорофілом а та загальним хлорофілом у фітопланктоні $Chl_a/Chl=0,8\pm0,08$, а співвідношення між каротиноїдами та загальним хлорофілом $Carot/Chl=0,27\pm0,027$. Спектральні

характеристики водного середовища апроксимовано на основі результатів експериментальних досліджень. Розраховані спектральні характеристики коефіцієнту дифузного відбиття на поверхні водного середовища при зміні біомаси фітопланктону наведено на рис. 1.

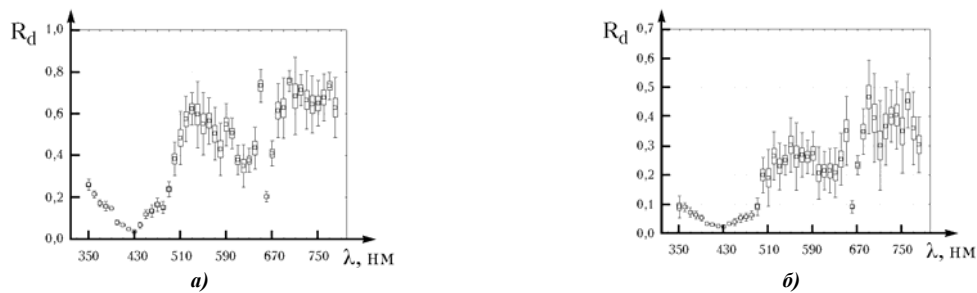


Рис. 1. Спектральні характеристики загального коефіцієнту дифузного відбиття на поверхні природного водного середовища при зміні біомаси фітопланктону від $B_1 = 17,7$ мг/л (а) до $B_2 = 35,4$ мг/л (б)

Для прийняття рішення про стан об'єкту контролю за результатами мультиспектральних вимірювань необхідно здійснити контроль на n довжинах хвиль. При використанні у лабораторному макеті засобу мультиспектрального екологічного контролю лінійки світлодіодів довжини хвиль спектральних каналів складають 450 нм, 470 нм, 510 нм, 530 нм, 590 нм, 620 нм, 660 нм та 730 нм. Діаграми розмаху коефіцієнту дифузного відбиття на поверхні водного середовища при зміні біомаси фітопланктону на цих довжинах хвиль наведено на рис. 2.

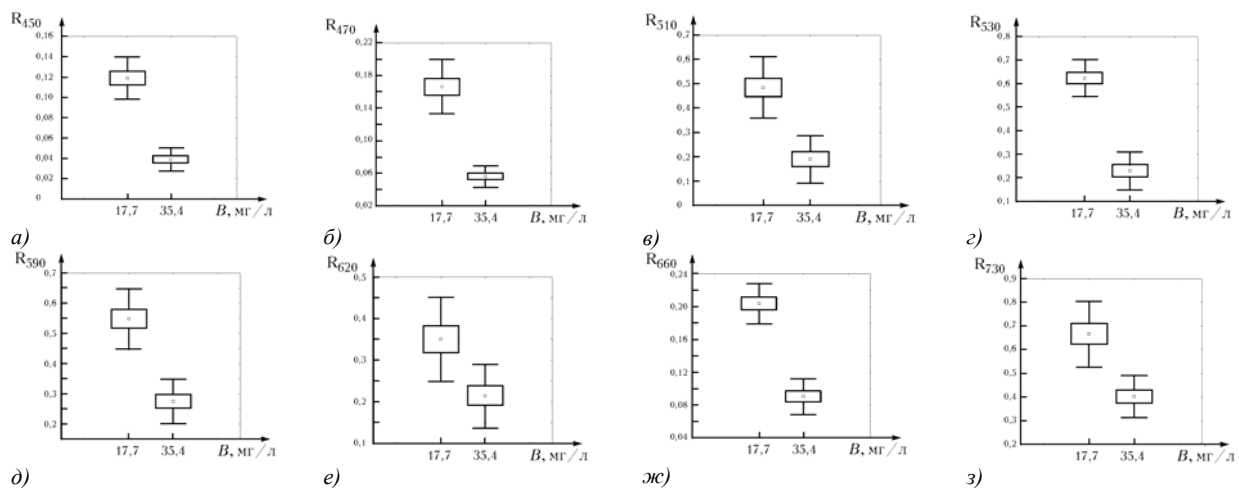


Рис. 2. Діаграми розмаху коефіцієнту дифузного відбиття на поверхні водного середовища при зміні біомаси фітопланктону на довжині хвилі: а) 450 нм, б) 470 нм, в) 510 нм, г) 530 нм, д) 590 нм, е) 620 нм, ж) 660 нм, з) 730 нм

Дослідження похибок у вимірювальному каналі засобу контролю

Дослідимо вплив похибок у одному вимірювальному каналі засобу контролю на довжині хвилі 590 нм. При цьому закон розподілу вимірюваної величини, тобто коефіцієнту дифузного відбиття на поверхні водного середовища на довжині хвилі 590 нм при зміні біомаси фітопланктону від $B_1 = 17,7$ мг/л до $B_2 = 35,4$ мг/л відповідає нормальному закону розподілу. При використанні у засобі контролю ПЗЗ камери інструментальна складова похибки мультиспектральних вимірювань визначається двома складовими, а саме похибкою, зумовленою наявністю шумів та випадкових завад у ПЗЗ камері та похибкою квантування пов'язаною з аналого-цифровим перетворенням. Складова похибки, пов'язана з наявністю шумів та випадкових завад у ПЗЗ камері $\delta_{noise\ ccd} = 100\% / (10^{D_{s/n}/20})$, де $D_{s/n}$ – співвідношення сигнал/шум фотоматриці. Похибка квантування при великій кількості розрядів може бути описана рівномірним законом розподілу, що відповідає рівній щільності ймовірності похибки квантування в межах $\pm h_k / 2$, де h_k – крок квантування. Проаналізуємо функції щільності розподілу ймовірності похибок зумовлених наявністю шумів та похибки квантування при використанні ПЗЗ камери типу MDC140BW на основі фотоматриці Sony ICX285AL з розрядністю 12-bit та співвідношенням сигнал/шум 66 дБ [10]. Закон розподілу похибки, пов'язаної з наявністю шумів та випадкових завад у ПЗЗ камері відповідає нормальному закону розподілу і наведений на рис. 3, а. Закон розподілу похибки квантування описаний рівномірним законом розподілу. Миттєве значення загальної похибки вимірювань визначається сумовою миттєвих значень її складових. Отриманий при цьому закон розподілу загальної похибки наведено на рис. 3, б. З урахуванням впливу похибок, пов'язаних з шумами ПЗЗ камери та квантуванням при аналого-цифровому перетворенні закон розподілу значення коефіцієнту дифузного відбиття наведено на рис. 3, в.

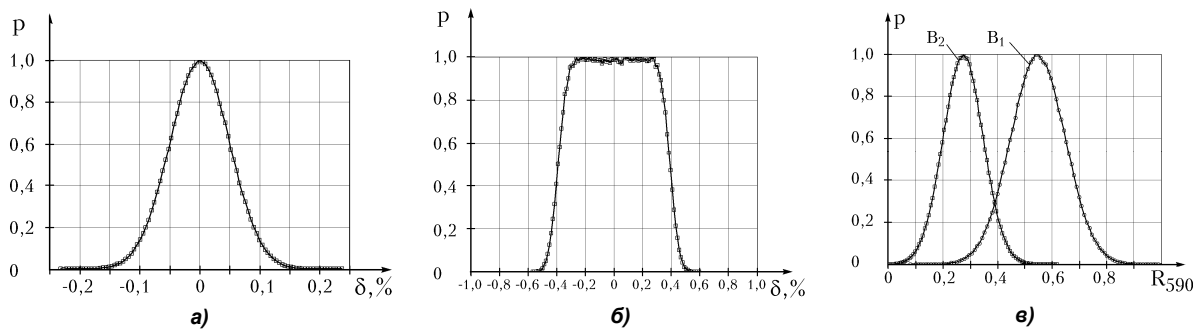


Рис. 3. Функції щільності розподілу ймовірності похибок: а) зумовленої наявністю шумів та випадкових завад у ПЗЗ-камері, б) загальної похибки та в) функція щільності розподілу вимірюваної величини з урахуванням впливу похибок

Оцінювання достовірності багатопараметричного мультиспектрального контролю

Проаналізуємо достовірність контролю біомаси фітопланктону у водному середовищі у спектральному каналі на довжині хвилі 590 нм. У результаті контролю біомаси фітопланктону необхідно визначити чи перевищує виміряне значення коефіцієнту дифузного відбиття порогове значення $R_p = 0,393$, щоб розрізнити зразки з біомасою фітопланктону $B_1 = 17,7$ мг/л та $B_2 = 35,4$ мг/л. При цьому можливі такі події:

$$\begin{cases} (R_1 \geq R_p) \rightarrow P_1 = 1, (R_1 < R_p) \rightarrow P_1 = 0, \\ (R_1 < R_p) \rightarrow P_2 = 1, (R_1 \geq R_p) \rightarrow P_2 = 0, \\ (R_2 \geq R_p) \rightarrow P_3 = 1, (R_2 < R_p) \rightarrow P_3 = 0, \\ (R_2 < R_p) \rightarrow P_4 = 1, (R_2 \geq R_p) \rightarrow P_4 = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де P_1, P_2 – змінні множинного типу $\{0;1\}$, які відповідають дійсному значенню біомаси фітопланктону; P_3, P_4 – змінні множинного типу $\{0;1\}$, які відповідають значенню біомаси фітопланктону визначеному за допомогою методу мультиспектрального контролю. При цьому можливо розрахувати змінні A, B, C, D , які відповідають усім можливим подіям у процесі контролю:

$$\begin{cases} ((P_1 = 1) \wedge (P_3 = 1)) \rightarrow A = 1, ((P_1 = 1) \wedge (P_3 = 1)) \rightarrow A = 0, \\ ((P_2 = 1) \wedge (P_3 = 1)) \rightarrow B = 1, ((P_2 = 1) \wedge (P_3 = 1)) \rightarrow B = 0, \\ ((P_1 = 1) \wedge (P_4 = 1)) \rightarrow C = 1, ((P_1 = 1) \wedge (P_4 = 1)) \rightarrow C = 0, \\ ((P_2 = 1) \wedge (P_4 = 1)) \rightarrow D = 1, ((P_2 = 1) \wedge (P_4 = 1)) \rightarrow D = 0, \end{cases} \quad (2)$$

де A, B, C, D – змінні множинного типу $\{0;1\}$.

A – відповідає події, коли у процесі контролю отримано істинно-позитивний результат (у результаті контролю отримано позитивний результат – досліджувана проба має біомасу фітопланктону B_1 і дійсне значення теж було позитивним – біомаса фітопланктону B_1), B – відповідає події, коли у процесі контролю отримано хибно-позитивний результат (у результаті контролю отримано позитивний результат – досліджувана проба має біомасу фітопланктону B_1 , а дійсне значення негативне – біомаса фітопланктону B_2), C – відповідає події, коли у процесі контролю отримано хибно-негативний результат (у результаті контролю отримано негативний результат – досліджувана проба має біомасу фітопланктону B_2 , а дійсне значення було позитивним – біомаса фітопланктону B_1), D – відповідає події, коли у процесі контролю отримано істинно-негативний результат (у результаті контролю отримано негативний результат – досліджувана проба має біомасу фітопланктону B_2 і дійсне значення негативне – біомаса фітопланктону B_2). Розраховуємо змінні P_1, P_2, P_3, P_4 та, відповідно, A, B, C, D за формулами (1), (2). Відповідно кількість подій кожного типу для контролю біомаси фітопланктону на основі мультиспектральних вимірювань буде $a = \sum A_i, b = \sum B_i, c = \sum C_i, d = \sum D_i$. На основі порівняльної таблиці визначаємо достовірність контролю біомаси фітопланктону при опрацюванні результатів мультиспектральних вимірювань на довжині хвилі 590 нм. Ймовірність помилки першого роду $\alpha_{590} = b/(a+b+c+d)$. Ймовірність помилки другого роду $\beta_{590} = c/(a+b+c+d)$. Достовірність $D_{590} = 1 - \alpha_{590} - \beta_{590}$. У таблиці 1 наведено результати розрахунку помилок першого та другого роду та достовірності контролю біомаси фітопланктону мультиспектральним методом для інших спектральних каналів.

При багатопараметричному мультиспектральному контролі достовірність буде визначатись таким чином:

$$D = \prod_{i=1}^n D_i, \quad (3)$$

Таблиця 1

Результати розрахунку помилок першого та другого роду та достовірності контролю біомаси фітопланктону мультиспектральним методом для різних спектральних каналів

λ_i , нм	R_1	R_2	α_i	β_i	D_i
450	$0,118857 \pm 0,020763$	$0,038890 \pm 0,011277$	$3,55 \cdot 10^{-3}$	$1,85 \cdot 10^{-3}$	0,995
470	$0,166028 \pm 0,033204$	$0,055889 \pm 0,013100$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$4,05 \cdot 10^{-3}$	0,992
510	$0,484011 \pm 0,127232$	$0,190166 \pm 0,097406$	0,049	0,045	0,907
530	$0,623434 \pm 0,077925$	$0,229899 \pm 0,080370$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	0,994
590	$0,548046 \pm 0,100428$	$0,274386 \pm 0,073805$	0,029	0,025	0,947
620	$0,349903 \pm 0,101636$	$0,214133 \pm 0,076144$	0,395	$1,05 \cdot 10^{-3}$	0,782
660	$0,203877 \pm 0,024480$	$0,090664 \pm 0,021355$	$3,15 \cdot 10^{-3}$	$4,35 \cdot 10^{-3}$	0,993
730	$0,665483 \pm 0,138428$	$0,402117 \pm 0,089620$	0,08	0,039	0,881

де D_i – достовірність контролю у одному спектральному каналі; i – номер каналу, n – кількість спектральних каналів.

При використанні у засобі мультиспектрального екологічного контролю чотирьох каналів з довжинами хвиль 450 нм, 470 нм, 530 нм та 660 нм достовірність багатопараметричного мультиспектрального контролю буде визначатись добутком $D = D_{450} \cdot D_{470} \cdot D_{530} \cdot D_{660}$. При цьому отримано значення достовірності контролю 0,974.

Висновки

Математичне моделювання спектральних характеристик коефіцієнту дифузного відбиття на поверхні природного водного середовища із завислими частинками фітопланктону та статистичний аналіз дозволили отримати діаграми розмаху коефіцієнту дифузного відбиття на робочих довжинах хвиль спектральних каналів засобу мультиспектрального контролю. У кожному із спектральних каналів засобу контролю проаналізовані функції щільності ймовірності похибок, що пов'язані із наявністю шумів та випадкових завад у ПЗЗ-камері, а також з похибкою квантування при аналого-цифровому перетворенні і отримано функцію щільності ймовірності загальної похибки. З урахуванням похибок у вимірювальному каналі оцінено помилки першого і другого роду, а також достовірність контролю у всіх спектральних каналах засобу контролю. Достовірність багатопараметричного контролю біомаси фітопланктону мультиспектральним методом обчислена, як добуток достовірностей окремих каналів. При використанні чотирьох спектральних каналів значення достовірності складає 0,974, що дозволяє використовувати розроблений засіб мультиспектрального екологічного контролю у спеціалізованих лабораторіях природоохоронних установ.

Література

1. Кватернюк С. М. Метод та засоби мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю стану неоднорідних біологічних середовищ / С. М. Кватернюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2017. – № 1. – С. 15–22.
2. Retrieval of Foliar Information about Plant Pigment Systems from High Resolution Spectroscopy / S. Ustin, A. Gitelson, S. Jacquemoud et al. // Remote Sensing of Environment. – 2009. – V. 113. – Suppl. 1 – P. 67–77.
3. Кватернюк С.М. Математичне моделювання переносу випромінювання у багатопараметричних неоднорідних біологічних середовищах для задач мультиспектрального вимірювального контролю та діагностики / С.М. Кватернюк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2016. – № 2(32). – С. 57–63.
4. Математичне моделювання впливу параметрів окремих шарів на спектральні характеристики неоднорідних біотканин / В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, О. Є. Кватернюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 3. – С. 50–56.

References

1. Kvaterniuk S. M. Metod ta zasoby multispektralnogo televizijnogo vymiryuvalnogo kontrolyu stanu neodnorodnyh biologichnyh sere dovyskh / S. M. Kvaterniuk // Visnyk Vinnyczkogo politehnicznego instytutu. – 2017. – №1. – P. 15–22.
2. Retrieval of Foliar Information about Plant Pigment Systems from High Resolution Spectroscopy / S. Ustin, A. Gitelson, S. Jacquemoud et al. // Remote Sensing of Environment. – 2009. – V.113. – Suppl.1 – P.67–77.
3. Kvaterniuk S. M. Matematychnе modeliuвання perenosu vyprominiuvannya u bahatosharovykh neodnorodnykh biolohichnykh sere dovyschakh dla zadach multispektralnogo vymiryuvalnogo kontroliu ta diahnostryky / S. M. Kvaterniuk // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2016. – №2(32). – P. 57–63.
4. Kvaterniuk S. M. Matematychnе modeliuвання vplyvu parametriv okremykh shariv na spektralni kharakterystyky neodnorodnykh biotkanyn / V. G. Petruk, S. M. Kvaterniuk, O. Ye. Kvaterniuk et al. // Visnyk Vinnyczkogo politehnicznego instytutu. – 2015. – №3. – P. 50–56.

Рецензія/Peer review : 09.04.2018 р.

Надрукована/Printed : 19.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

MAXIMIZATION OF COLLECTIVE UTILITY AND MINIMIZATION OF PAYOFF PARITY LOSSES FOR ORDERING AND SCALING EFFICIENT NASH EQUILIBRIA IN TRIMATRIX GAMES WITH ASYMMETRIC PAYOFFS

A method of refining efficient Nash equilibria in trimatrix games with asymmetric payoffs is proposed. The refinement, which here is in a wide sense, is executed via scalarizing maximization of collective utility and minimization of payoff parity losses and subsequently finding distances for every equilibrium to the three unreachable minima and one unreachable maximum. The proposed method aligns equilibria in order and also scales them by the distances' ratios.

Keywords: Nash equilibria, trimatrix games, collective utility, payoff parity loss, metaequilibrium.

B.B. РОМАНЮК

Військово-морська Академія Польщі, Польща, Гдиня

МАКСИМІЗАЦІЯ КОЛЕКТИВНОЇ КОРИСНОСТІ ТА МІНІМІЗАЦІЯ ВТРАТ ПАРИТЕТУ ВИГРАШІВ ДЛЯ УПОРЯДКУВАННЯ ТА МАСШТАБУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ РІВНОВАГ НЕША У ТРИМАТРИЧНИХ ІГРАХ З АСИМЕТРИЧНИМИ ВИГРАШАМИ

Пропонується метод відсіву ефективних рівноваг Неша у триматричних іграх з асиметричними виграшами. Відсів, який тут розуміється у широкому сенсі, виконується шляхом скаляризації максимізації колективної корисності та мінімізації втрат паритету виграшів з подальшим знаходженням відстаней для кожної рівноваги до трьох недосяжних мінімумів та одного недосяжного максимуму. Запропонований метод розташовує рівноваги за порядком, а також масштабує їх за співвідношеннями відстаней.

Ключові слова: рівноваги Неша, триматричні ігри, колективна корисність, втрата паритету виграшів, метарівновага.

Introduction

Bimatrix games (2MGs) are good models for describing a bilateral interaction with possibilities of a decision choice [1, 2]. Nash equilibria (NEa), if any, are always an object of a refinement for selecting the best NE, although the refinement does not necessarily become easier for a lesser number of NEa [3, 4]. In article [5], a couple of collective utility (CU) and minimum payoff parity loss (PPL) rules is used as for refining NEa, as well as for ranking them. Such a refinement is executed over efficient NEa (ENEa) as they are obtained really easily. The suggested in article [5] approach exploits a two-criteria problem for finding the so-called metaequilibrium, wherein CU is maximized and PPL is minimized. This problem is solved via scalarization with weighing the criteria. It is obvious that a similar technique may be exploited for refining ENEa in trimatrix games (3MGs), which model a wider class of interactions than 2MGs. Apart from economical and bioecological domains, 3MGs are used for solving resources allocation problems in computer networks and distributed systems (e. g., see [1, 3] and [4]).

Goal of the article and tasks to be fulfilled

The goal of the article is to further the approach to the ENEa refinement suggested in article [5] for 3MGs. For achieving the article's goal, the following five tasks are to be fulfilled:

- 1) to circumscribe properties of payoff matrices (PMs), which are to be considered only for the refinement;
- 2) to circumscribe properties of ENEa, which are only possible to be refined for the 3MGs considered here;
- 3) to re-state the principle of reasonability introduced in article [5], by which players search for a metaequilibrium non-cooperatively;
- 4) to state the corresponding multicriteria problem for finding the metaequilibrium in 3MGs along with providing weights for the criteria to scalarize the problem;
- 5) to show how the relative ranking helps in not just ordering the refined ENEa (referring to the refinement in a wide sense), but also in scaling them.

Properties of PMs in the 3MGs whose ENEa undergo the refinement

The first, second, and third players in a 3MG have their respective PMs

$$\mathbf{A} = (a_{mnk})_{M \times N \times K} \quad \text{and} \quad \mathbf{B} = (b_{mnk})_{M \times N \times K} \quad \text{and} \quad \mathbf{C} = (c_{mnk})_{M \times N \times K} \quad (1)$$

by $M \in \mathbb{N} \setminus \{1\}$, $N \in \mathbb{N} \setminus \{1\}$, $K \in \mathbb{N} \setminus \{1\}$. Let the respective sets of the players' pure strategies be

$$X = \{x_m\}_{m=1}^M \quad \text{and} \quad Y = \{y_n\}_{n=1}^N \quad \text{and} \quad Z = \{z_k\}_{k=1}^K. \quad (2)$$

PMs (1) are presumed to be nonnegative and have identical measurement units. PMs can always be made nonnegative by adding some positive number to them (zeros may be left for convenience in calculations). That will not change NEa, and true payoffs are returned by subtracting the added positive number [1, 2, 5].

Properties of ENEa that make them possible to undergo the refinement

We assume that there are Q ENEa in the 3MG with PMs (1) by $Q > 1$. The q -th ENE is

$$e_q = \{x_q^*, y_q^*, z_q^*\} \quad \text{by} \quad x_q^* \in X \quad \text{and} \quad y_q^* \in Y \quad \text{and} \quad z_q^* \in Z, \quad (3)$$

which corresponds to indices $\{m^{(q)}, n^{(q)}, k^{(q)}\}$ by $m^{(q)} \in \{1, M\}$ and $n^{(q)} \in \{1, N\}$ and $k^{(q)} \in \{1, K\}$ in PMs (1). In the q -th ENE (3) the players obtain payoffs

$$\{a_q^*, b_q^*, c_q^*\} \text{ by } a_q^* = a_{m_q^{(q)} n_q^{(q)} k_q^{(q)}} \text{ and } b_q^* = b_{m_q^{(q)} n_q^{(q)} k_q^{(q)}} \text{ and } c_q^* = c_{m_q^{(q)} n_q^{(q)} k_q^{(q)}}. \quad (4)$$

Payoffs $\{a_q^*, b_q^*, c_q^*\}_{q=1}^Q$ to be considered only for the refinement in 3MGs have properties of asymmetry and diversity (see the similar properties of PMs in 2MGs in article [5]). The property of diversity is simply that a case

$$\{a_q^*, b_q^*, c_q^*\} = \{\alpha, \beta, \gamma\} \text{ by } [\alpha \ \beta \ \gamma] \in \mathbb{R}^3 \quad \forall q = \overline{1, Q} \quad (5)$$

is impossible. The property of payoffs' asymmetry in 3MGs looks more complicated than the property of payoffs' asymmetry in 2MGs. For PMs (1) in 3MGs, the membership

$$\{a_q^*, b_q^*, c_q^*\} \in \{\{\alpha, \beta, \gamma\}, \{\beta, \alpha, \gamma\}, \{\beta, \gamma, \alpha\}, \{\alpha, \gamma, \beta\}, \{\gamma, \alpha, \beta\}, \{\gamma, \beta, \alpha\}\} \text{ by } [\alpha \ \beta \ \gamma] \in \mathbb{R}^3 \quad \forall q = \overline{1, Q} \quad (6)$$

is impossible. The sense of this restriction will be explained in a section below. Factually, impossibility of membership (6) includes impossibility of case (5). Whereas membership (6) does not imply the total nonrefinability of the ENEa (if there are different ENEa, although symmetrical, they may be refined by involving non-equilibrium situations), case (5) has been left apart because it makes the ENEa "more" nonrefinable — they are just identical.

Reasonability, by which players search for a metaequilibrium non-cooperatively

Although the NE is built on a basis of that the player oneself cannot improve one's payoff if springing off an equilibrium strategy in the NE, multiple ENEa generate a non-equilibrium. However, some equilibrium is that what is nonetheless attractive to players. Therefore, the players shall search for an equilibrium (the metaequilibrium) over ENEa. The search is executed non-cooperatively because the players comprehend that, even they cannot guess which ENE is the "right one", they will independently stick to an ENE, at which each of them loses minimally. This is also about a collective loss to be minimized, although some players will not lose at all but win a little bit more. The ENE, at which the sum of the players' payoffs is greater, is reasonably preferable. Eventually, every player comprehends that refusing to lose less in the metaequilibrium leads to lose just more [5]. Of course, this principle of reasonability is feasible only in games whose players or their personifiers are rational.

The four-criteria problem for finding the metaequilibrium in 3MGs along with weights for the criteria

The sum of the players' payoffs at the q -th ENE is a collective utility (CU) of this situation:

$$u(q) = a_q^* + b_q^* + c_q^* \text{ by } q = \overline{1, Q}. \quad (7)$$

Along with CU (7) we have payoff differences for every couple of the players:

$$l_{12}(q) = |a_q^* - b_q^*|, \quad l_{13}(q) = |a_q^* - c_q^*|, \quad l_{23}(q) = |b_q^* - c_q^*|, \quad q = \overline{1, Q}. \quad (8)$$

An ideal case is when those differences are zeros. In this case, there is total parity in payoffs. That is why payoff differences (8) were called payoff parity losses (PPLs) [5].

As PMs (1) are nonnegative and have identical measurement units, then CU and PPLs are normalized [5]:

$$\tilde{u}(q) = u(q) / \sum_{s=1}^Q u(s) \text{ by } q = \overline{1, Q} \quad (9)$$

and

$$\tilde{l}_{12}(q) = l_{12}(q) / \sum_{s=1}^Q u(s), \quad \tilde{l}_{13}(q) = l_{13}(q) / \sum_{s=1}^Q u(s), \quad \tilde{l}_{23}(q) = l_{23}(q) / \sum_{s=1}^Q u(s) \text{ by } q = \overline{1, Q}. \quad (10)$$

The normalized CU (9) is to be maximized and the normalized PPLs (10) are to be minimized:

$$q_{\text{util}} \in \arg \max_{q=1, Q} \tilde{u}(q), \quad q_{\text{loss}}^{(12)} \in \arg \min_{q=1, Q} \tilde{l}_{12}(q), \quad q_{\text{loss}}^{(13)} \in \arg \min_{q=1, Q} \tilde{l}_{13}(q), \quad q_{\text{loss}}^{(23)} \in \arg \min_{q=1, Q} \tilde{l}_{23}(q). \quad (11)$$

Obviously, four-criteria problem (11) for finding a metaequilibrium in 3MGs will not have a solution, at which $q_{\text{util}} = q_{\text{loss}}^{(12)} = q_{\text{loss}}^{(13)} = q_{\text{loss}}^{(23)}$. Hence, a scalarization is invoked for unifying the criteria in (11) into one. Point

$$[\tilde{l}_{12}(q) \ \tilde{l}_{13}(q) \ \tilde{l}_{23}(q) \ \tilde{u}(q)] \in \mathbb{R}^4 \quad (12)$$

lies on a hyperplane containing the unreachable minima of normalized PPLs (10) and the unreachable maximum of normalized CU (9). Those three unreachable minima and one unreachable maximum constitute a point, which is

$$[0 \ 0 \ 0 \ 1] \in \mathbb{R}^4, \quad (13)$$

whence a Euclidean distance between points (12) and (13) is

$$\rho_{\mathbb{R}^4}([\tilde{l}_{12}(q) \ \tilde{l}_{13}(q) \ \tilde{l}_{23}(q) \ \tilde{u}(q)], [0 \ 0 \ 0 \ 1]) = \sqrt{\tilde{l}_{12}^2(q) + \tilde{l}_{13}^2(q) + \tilde{l}_{23}^2(q) + [1 - \tilde{u}(q)]^2}. \quad (14)$$

Nevertheless, criteria of minimizing the PPLs may be significantly less or more important than the criterion of maximizing the CU. Let $\alpha \in (0; 1)$ be a weight of the PPLs criteria. Then distance (14) is re-stated as

$$\rho_{\mathbb{R}^4}([\tilde{l}_{12}(q) \ \tilde{l}_{13}(q) \ \tilde{l}_{23}(q) \ \tilde{u}(q)], [0 \ 0 \ 0 \ 1]; \alpha) = d(q, \alpha) = \sqrt{\alpha[\tilde{l}_{12}^2(q) + \tilde{l}_{13}^2(q) + \tilde{l}_{23}^2(q)] + (1 - \alpha)[1 - \tilde{u}(q)]^2}. \quad (15)$$

If there is an uncertainty in selecting the weight, then setting $\alpha = 0.5$ is always acceptable. And the solution

$$q_* \in \arg \min_{q=1, Q} d(q, \alpha) \quad (16)$$

gives us that metaequilibrium e_{q_*} whose payoffs $\{a_{q_*}^*, b_{q_*}^*, c_{q_*}^*\}$ represent a minimum of PPLs and a CU maximum.

The relative ranking for ordering and scaling ENEa

The approach with distance (15) and minimum (16) does not only imply refining as the metaequilibrium e_{q_*} . Distances $\{d(q, \alpha)\}_{q=1}^Q$ are arranged as $\{d(q_v, \alpha)\}_{v=1}^Q$, where

$$d(q_v, \alpha) \leq d(q_{v+1}, \alpha) \quad v=1, Q-1 \quad (17)$$

and

$$d(q_*, \alpha) = d(q_1, \alpha) \quad \text{by} \quad \{q_v\}_{v=1}^Q \cap \{1, Q\} = \{1, Q\}. \quad (18)$$

Then a value

$$r(q_v, \alpha) = d(q_{v+1}, \alpha) / d(q_v, \alpha) \quad (19)$$

is a ratio showing an advantage of the q_v -th ENE over the q_{v+1} -th ENE by $v=1, Q-1$. Ratios $\{r(q_v, \alpha)\}_{v=1}^{Q-1}$ showing the relative ranking of ENEa allow ordering and scaling ENEa. This is the refinement in a wide sense. For example, in a $3 \times 4 \times 2$ 3MG with PMs

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 6 & 8 & 6 & 3 \\ 3 & 5 & 2 & 5 \\ 3 & 4 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 3 & 0 & 2 \\ 8 & 2 & 0 & 8 \\ 2 & 7 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{and} \quad \mathbf{B} = \begin{pmatrix} 9 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 3 & 0 & 5 \\ 6 & 5 & 8 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 9 & 3 & 0 & 6 \\ 6 & 1 & 9 & 5 \\ 2 & 7 & 5 & 4 \end{pmatrix} \quad \text{and} \quad \mathbf{C} = \begin{pmatrix} 3 & 6 & 3 & 1 \\ 2 & 7 & 3 & 4 \\ 3 & 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3 & 3 & 2 & 4 \\ 6 & 0 & 4 & 3 \\ 7 & 1 & 3 & 1 \end{pmatrix} \quad (20)$$

having four ENEa $e_1 = \{x_1, y_1, z_1\}$, $e_2 = \{x_2, y_3, z_2\}$, $e_3 = \{x_2, y_4, z_1\}$, $e_4 = \{x_3, y_2, z_2\}$, and their respective payoffs $\{6, 9, 3\}$, $\{0, 9, 4\}$, $\{5, 5, 4\}$, $\{7, 7, 1\}$, the distances and the ranking are

$$d(1, 0.5) \approx 0.5025, \quad d(2, 0.5) \approx 0.569, \quad d(3, 0.5) \approx 0.5424, \quad d(4, 0.5) \approx 0.5397, \quad d(1, 0.5) < d(4, 0.5) < d(3, 0.5) < d(2, 0.5), \quad r(1, 0.5) \approx 1.074, \quad r(4, 0.5) = 1.005, \quad r(3, 0.5) \approx 1.0491, \quad (21)$$

whence $e_1 \succ e_4 \succ e_3 \succ e_2$. Along with that ENE $e_1 = \{x_1, y_1, z_1\}$ is the metaequilibrium, we learn that payoffs $\{6, 9, 3\}$ in this ENE are 7.4 % better than payoffs $\{7, 7, 1\}$ in the closest ENE $e_4 = \{x_3, y_2, z_2\}$. However, the advantage of this ENE over the next ENE (by its rank) $e_3 = \{x_2, y_4, z_1\}$ is just 0.5 %. That looks pretty weird as much greater non-zero PPLs $l_{13}(4) = l_{23}(4) = 6$ stand against much smaller non-zero PPLs $l_{13}(3) = l_{23}(3) = 1$, while CU $u(4) = 15$ of the higher-ranked ENE exceeds CU $u(3) = 14$ of the lower-ranked ENE just by 1. Subsequently, if to increase the weight of the PPLs criteria, ENE e_3 (having much better factor of PPLs and standing too close by CU) will exceed ENE e_4 . Indeed, setting $\alpha > 0.566$ (which is just 13.2 % greater than the initial weight) in 3MG with PMs (20) gives such a result. Thus, 3MG with PMs (20) is an example of that a selection of a weight of the PPLs criteria is not as easy and clear step as it might have seemed before.

Discussion and conclusion

A substantial merit of the proposed method of refining ENEa is that it aligns them in order and also scales them by ratios (19). In particular, that scaling answers a question of “how much is the metaequilibrium better than the other ENEa?” This is very important for 3MGs, where ENEa appear more sophisticated than ENEa in 2MGs, and distinguishing among such 3-payoff ENEa becomes harder. Furthermore, the suggested refinement of ENEa is equivalent to the relative ranking of ENEa, wherein we learn relationships among all ENEa. Nonetheless, this learning potentially depends on what the weight of the PPLs criteria is selected. The example of 3MG with PMs (20) has shown that sometimes relationships among ENEa by ratios (19) are pretty sensitive to the weight. And that is one of the demerits. Another one is that the proposed method does not involve non-equilibrium situations that makes symmetrical ENEa absolutely non-distinguishable here.

The proposed method of refining ENEa is based on the reasonability of “it is better to lose less than risking to lose just more”, by which rational players search for a metaequilibrium non-cooperatively. The method can be easily extended to finite noncooperative games of any number of players, and applied for, say, solving queue and priority problems in peer-to-peer computing/networking, where the server acts instead of the players (clients).

References

1. Panaousis E. Game theoretic path selection to support security in device-to-device communications / E. Panaousis, E. Karapistoli, H. Elsemary, T. Alpcan, MHR Khuzani, A. A. Economides // *Ad Hoc Networks*. — 2017. — Volume 56. — P. 28 — 42.
2. Romanuke V. V. Approximation of isomorphic infinite two-person noncooperative games via variously sampling the players' payoff functions and reshaping payoff matrices into bimatrix game / V. V. Romanuke, V. G. Kamburg // *Applied Computer Systems*. — 2016. — Volume 20. — P. 5 — 14.
3. Anshelevich E. Exact and approximate equilibria for optimal group network formation / E. Anshelevich, B. Caskurlu // *Theoretical Computer Science*. — 2011. — Volume 412, Issue 39. — P. 5298 — 5314.
4. Grauberger W. Computing approximate Nash equilibria in general network revenue management games / W. Grauberger, A. Kimms // *European Journal of Operational Research*. — 2014. — Volume 237, Issue 3. — P. 1008 — 1020.
5. Romanuke V. V. A couple of collective utility and minimum payoff parity loss rules for refining Nash equilibria in bimatrix games with asymmetric payoffs / V. V. Romanuke // *Visnyk of Kremenchuk National University of Mykhaylo Ostrogradsky*. — 2018. — Issue 1 (108). — P. 38 — 43.

Рецензія/Peer review :

Рецензент: стаття прорецензована редакційною колегією

НЕДОЛІКИ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ПОШУКУ ВІДСТАНЕЙ ФАЗОВИМИ МЕТОДАМИ У ВИПАДКУ ДЕКІЛЬКОХ ОБ'ЄКТІВ

Для визначення об'єктів все більш широке застосування знаходять фазові методи. Відомо також, що для фазових методів основною проблемою є ідентифікація об'єктів, оскільки сигнал вимірювання та відбиття є сигналами однієї частоти. Показані існуючі методи виділення інформації про відстані до об'єктів, що знайшли своє теоретичне та практичне застосування.

Ключові слова: фазовий метод, відбиття, відстань.

K.L. HORIASCHENKO

Khmelnytsky national university, Ukraine

ОГЛЯД ВІДОМИХ МЕТОДІВ ПОШУКУ ВІДСТАНЕЙ ФАЗОВИМИ МЕТОДАМИ У ВИПАДКУ ДЕКІЛЬКОХ ОБ'ЄКТІВ ТА АНАЛІЗ ІХ ЗАСТОСОВУВАНOSTІ ДЛЯ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Phase methods are increasingly used to determine objects. It is also known that for phase methods, the main problem is the identification of objects, because the signal of measurement and reflection are signals of one frequency. There are modern studies in which the fundamental possibility of dividing the two objects using only phase measurements at several frequencies is shown and substantiated.

Existing methods of allocating distance information to objects that have found their theoretical application are shown. These methods include the iterative method and the method of successive approximation. It is established that such methods are based on principal assumptions about the finite number of reflections. The rebinding of signals between objects is not taken into account. It is essential to take the size of objects much smaller than the wavelength. Thus, the proposed existing methods will only find a solution for certain cases and can not be used for practical application for radio measuring devices.

Keywords: phase method, reflection, distance.

Існують сучасні дослідження, в яких показана та обґрунтована принципова можливість розділення двох об'єктів із використанням лише фазових вимірювань на кількох частотах.

Розглянемо сучасні дослідження у області вимірювань відстаней до кількох одночасних пошкоджень у лінії зв'язку за допомогою фазових методів. Важливим наслідком згідно робіт [1, 2, 3, 4, 5] є встановлена можливість вимірювати відстані до двох і більше пошкоджень у лініях зв'язку, що існують там одночасно, із застосуванням фазових вимірювань.

Для розв'язання цієї задачі розроблені та представлені такі методи. Реалізація цих методів відома з таких робіт як [6, 4]. Однак вони мають складності в практичній реалізації, вимагають проведення складних чисельних розрахунків. Проте, найголовнішою їх проблемою залишається невизначеність кількості пошкоджень.

Ітераційні фазочастотні методи вимірювання відстаней до пошкоджень в провідній лінії

Найпершими методами, що мали на меті розв'язання задачі вимірювання відстаней до пошкоджень в провідній лінії стали ітераційні методи.

Усі сигнали є гармонійними із однією частотою і різними фазовими зсувами. Отже:

$$s_{\text{відл}}(t) = a_1 \cos(\omega t + \varphi_1) + a_2 \cos(\omega t + \varphi_2), \quad (1)$$

де a_i – амплітуди сигналів;

ω – кругова частота;

φ_i – кути зсуву фази для відбиття.

Вираз виду (1) показує формування сумарного сигналу. Зрозуміло, що розв'язання прямої задачі визначається цілком достатньо з цього виразу. Вирішення зворотної задачі – визначення кількості пошкоджень та відстаней до них потребує пошуку методів розв'язання рівнянь виду (1).

В загальному випадку рівняння (1) мають $2n$ пар невідомих, де n – кількість об'єктів вимірювання, також є невідомою в початковий момент. Причому одна невідома в цій парі – це амплітуда a_i відбиття, а друга – кут зсуву фази φ_i від цього ж відбиття. Тому для вирішення зворотної задачі необхідно записати декілька рівнянь, кількість яких повинна дорівнювати $n \times 2$ або більше них.

При проведенні вимірювань, якщо опиратися на рис. 1, рис. 2 для забезпечення вимірювання амплітудно-частотної та відповідної фазочастотної характеристики не можна охопити всі точки робочого частотного діапазону.

Обрахунок, представлений на Рис. 1 та Рис. 2 показує, як змінюються параметри лінії від частоти. При цьому для моделювання були використані частотонезмінні значення R , L , C та G .

Сучасні підходи ([3, 4]) до проведення вимірювань передбачають ступеневу зміну частоти шляхом перестройки генератора вимірювальної частоти. Тому при проведенні цих вимірювань будуть отримані значення амплітуди та фазового зсуву сумарного сигналу в певних точках робочого діапазону. А результат –

масив отриманих значень можна записати системи рівнянь в тригонометричній або експоненційній формах [3, 4]:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{\Sigma 1} \sin \varphi_{\Sigma 1} = U_1 \sin \varphi_1 + U_2 \sin \varphi_2 + \dots + U_n \sin \varphi_n, \\ U_{\Sigma 2} \sin \varphi_{\Sigma 2} = U_1 \sin 2\varphi_1 + U_2 \sin 2\varphi_2 + \dots + U_n \sin 2\varphi_n, \\ \dots \\ U_{\Sigma n} \sin \varphi_{\Sigma n} = U_1 \sin n\varphi_1 + U_2 \sin n\varphi_2 + \dots + U_n \sin n\varphi_n, \\ \\ U_{\Sigma 1} \cos \varphi_{\Sigma 1} = U_1 \cos \varphi_1 + U_2 \cos \varphi_2 + \dots + U_n \cos \varphi_n, \\ U_{\Sigma 2} \cos \varphi_{\Sigma 2} = U_1 \cos 2\varphi_1 + U_2 \cos 2\varphi_2 + \dots + U_n \cos 2\varphi_n, \\ \dots \\ U_{\Sigma n} \cos \varphi_{\Sigma n} = U_1 \cos n\varphi_1 + U_2 \cos n\varphi_2 + \dots + U_n \cos n\varphi_n, \end{array} \right. \quad (2)$$

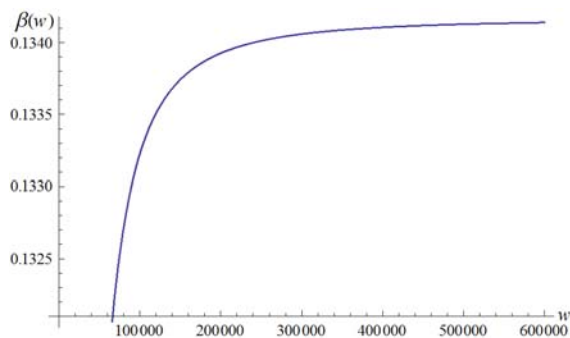


Рис. 1. Зміна коефіцієнту фазового зсуву $\beta[\omega]$

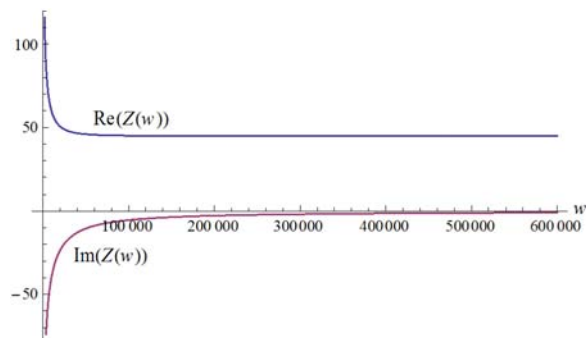


Рис. 2. Зміна дійсної та уявної складових частин хвильового опору ліній $\dot{Z}_{x6}[\omega]$

Рівняння системи (2) є системою тригонометричних рівнянь, а отже вони є нелінійними. Методи розв'язання таких нелінійних систем рівнянь в кожному окремому випадку необхідно шукати відповідно до системи.

Як один з способів для розв'язання запропонованої системи рівнянь запропоновано використання чисельних методів [4]. В основу чисельного методу розв'язання систем нелінійних рівнянь покладено принцип зведення рівнянь до лінійних та пошуку розв'язків, що задовольняють певним умовам в заданому діапазоні значень.

Загальна кількість рівнянь n визначається виходячи з уявної кількості об'єктів. У випадку 2-х об'єктів, рівняння системи (2) зводяться до наступної системи двох рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^2 a_i \cos(\varphi_{1i}) = a_{\Sigma 1} \cos \varphi_{\Sigma 1}; \\ \sum_{i=1}^2 a_i \cos(\varphi_{2i}) = a_{\Sigma 2} \cos \varphi_{\Sigma 2} \end{array} \right. \quad (3)$$

Розв'язок системи рівнянь (3) можливий з визначенням кутів зсувів фаз φ_{ni} із певною точністю при одночасному наближенні між собою значень лівої та правої частини кожного рівняння.

Одним із методів розв'язку цієї системи є ітераційний метод розв'язку системи рівнянь. Розв'язок системи (2) полягає у поступовому розв'язку із застосуванням представленого в роботах [2, 3, 4] математичного апарату розв'язку систем рівнянь виду:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_1(a_1, \varphi_1, \varphi_2) = a_1 \sin \varphi_1 + (a_{\Sigma 0} - a_1) \sin \varphi_2 - a_{\Sigma 1} \sin \varphi_{\Sigma 1} = 0; \\ f_2(a_1, \varphi_1, \varphi_2) = a_1 \sin 2\varphi_1 + (U_{\Sigma 0} - a_1) \sin 2\varphi_2 - a_{\Sigma 2} \sin \varphi_{\Sigma 2} = 0; \\ f_3(a_1, \varphi_1, \varphi_2) = a_1 \sin 3\varphi_1 + (U_{\Sigma 0} - a_1) \sin 3\varphi_2 - a_{\Sigma 3} \sin \varphi_{\Sigma 3} = 0. \end{array} \right.$$

Покажемо складність розв'язку для випадку двох пошкоджень. Для розв'язку такої системи складається матриця Якобі [2, 3, 4]:

$$W = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial a_1} & \frac{\partial f_1}{\partial \varphi_1} & \frac{\partial f_1}{\partial \varphi_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial a_1} & \frac{\partial f_2}{\partial \varphi_1} & \frac{\partial f_2}{\partial \varphi_2} \\ \frac{\partial f_3}{\partial a_1} & \frac{\partial f_3}{\partial \varphi_1} & \frac{\partial f_3}{\partial \varphi_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2) & a_1 \cos \varphi_1 & (a_{\Sigma 0} - a_1) \cos \varphi_2 \\ (\sin 2\varphi_1 - \sin 2\varphi_2) & 2a_1 \cos 2\varphi_1 & 2(a_{\Sigma 0} - a_1) \cos 2\varphi_2 \\ (\sin 3\varphi_1 - \sin 3\varphi_2) & 3a_1 \cos 3\varphi_1 & 3(a_{\Sigma 0} - a_1) \cos 3\varphi_2 \end{bmatrix}.$$

Та шукається визначник Якобі для даної матриці:

$$\det W = \det \left[\frac{\partial f}{\partial x} \right] \neq 0.$$

Розв'язок відбувається шляхом послідовної зміни параметрів елементів системи як амплітуди так і кута зсуву фази. Якщо пошкоджень є три, система (2) стає складнішою. Необхідність визначення значень функцій та їх похідних вимагає наявності потужного програмного та апаратного забезпечення.

Враховуючи представлені та проаналізовані в попередньому розділі моделі пошкоджень слідуює, що запропонований у роботах [2, 3, 4] ітераційний метод розв'язку задачі визначення відстаней до пошкоджень можна використати тільки для ідеалізованого варіанту пошкодження лінії – з точковими пошкодженнями та за умов відомої їх кількості.

В реальній лінії використання цього методу неможливе:

1) кількість наявних пошкоджень в кабельній лінії та їх тип (точкове або розподілене) є невідомими априорі, а тому для розв'язку задачі запропонованим у роботах [2, 3, 4] необхідно встановлювати кількість пошкоджень більше ніж це може бути в реальному випадку;

2) ускладнення виконання обчислень через застосування математичного апарату, який використовує числові методи розв'язку систем зв'язку.

Метод послідовного наближення для фазового методу вимірювання дальності об'єктів

Іншим варіантом ітераційного методу є запропонований та представлений в роботах [2, 3, 4] метод пошуку із використанням інформації щодо мінімумів та максимумів на амплітудо-фазовій діаграмі для суми відбитих сигналів, згідно процесів, що відображено на рис. 3, рис. 4, рис. 5. Тому в роботах [2, 3, 4] показано можливість також використати ітераційний підхід в розв'язку системи (2).

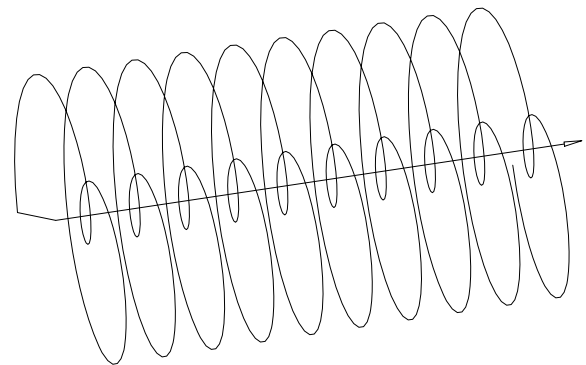


Рис. 3. Амплітудно-фазова діаграма в циліндричних координатах (АФДЦ) сумарного відбитого сигналу для двох об'єктів [4]

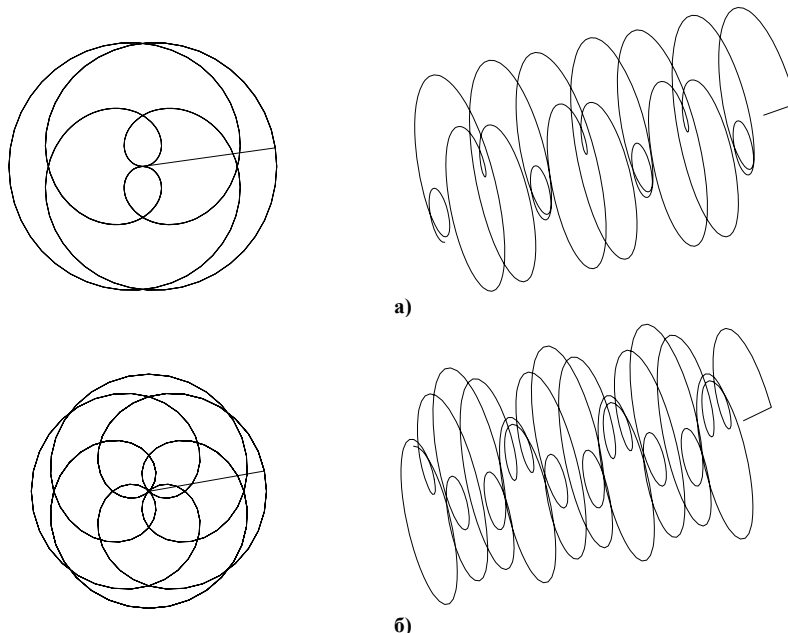


Рис. 4. Амплітудно-фазова діаграма в циліндричних координатах сумарного відбитого сигналу: а) при $k=10/6$, б) при $k=14/6$ [4]

На рис. 5 зображено АФДЦ за умови, що кути зсувів фаз є кратні 2 до 1, а амплітуди не рівні. При цьому в характерних точках характеристики також спостерігається мінімум амплітуди сумарного відбитого сигналу ($A_{\Sigma_n} \rightarrow \min$) [4].

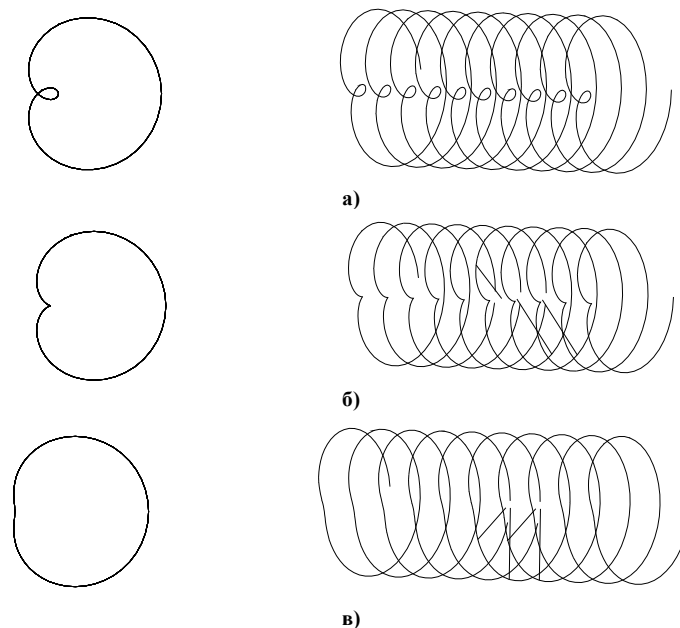


Рис. 5. Амплітудно-фазова діаграма в циліндричних координатах сумарного відбитого сигналу: а) при $A=0.7$, б) при $A=0.5$, в) при $A=0.3$ [4]

Для випадку різних коефіцієнтів відношення фаз відбитих сигналів справедливі твердження, викладені вище.

Отже в роботі [4] проаналізовані амплітудно-фазові діаграми в циліндричних координатах для сумарного відбитого сигналу за умов різних співвідношень між амплітудами векторів відбиттів, за умов різних співвідношень між кутами зсуву фаз.

Проте висновки щодо природи та причин такої поведінки вектора кута зсуву фази в роботі [4] залишились не розкритими. Недостатнє розуміння природи цих явищ призвело до створення недосконалих методів визначення кількості об'єктів в цілому та визначення відстаней до них зокрема.

Так на рис. 6 ([2, 3, 4]) показано графік залежності амплітуди сум відбитих сигналів від частоти. Фактично, цей графік є не що інше як амплітудно-фазова діаграма, яка є результатом векторної суми векторів, що сформовано векторами від відбиттів, тільки представлена в декартовій площині. В представлених вище роботах ([2, 3, 4]) на жаль не знайшли подальшого розвитку аналіз причин формування отриманих графіків, що аналогічні до показаного на рис. 6.

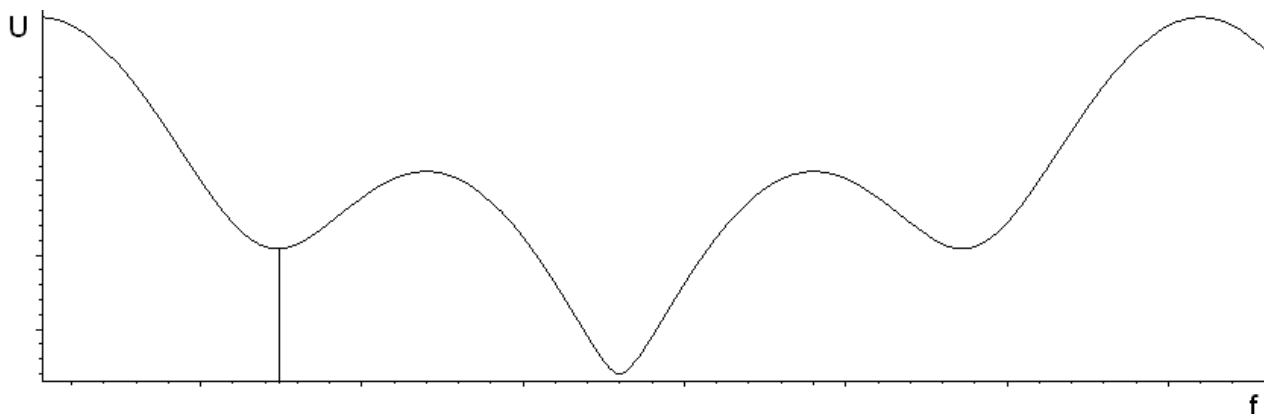


Рис. 6. Графік залежності амплітуди суми відбитих сигналів від частоти сигналу зондування лінії [2, 3, 4]

Математична модель процесу вимірювання за методом послідовного наближення має вигляд [3]:

$$a_k = \frac{a_{\Sigma}}{2^N} \sum_{i=1}^N 2^{N-i} k_i, \quad (4)$$

де N – число розрядів регістру послідовного наближення;

a_{Σ} – максимальна вимірювана амплітуда сумарного сигналу на частоті $f=0$;

k_i – значення на виході амплітудного компаратора на i -му кроці врівноваження, приймає значення "0" або "1".

В роботі [3] проведено аналіз математичної моделі методу послідовного наближення, та стверджується, що з кожним кроком вимірювання точність підвищується у два рази. Проте практична реалізація має проблеми в реалізації цього методу.

Отже, визначення відстаней згідно алгоритму методу послідовного наближення полягає у введенні додаткового вектору таким чином, щоб його вплив створював компенсацію впливу одного з векторів, що визначає сумарний сигнал.

Наприклад, для визначення складових сумарного сигналу, що складається з 3-х векторів, а це відповідає 3-м точковим пошкодженням, виконуються наступні дії:

1. Вводиться додатковий сигнал, з такими параметрами:

- 1.1) вектор кута зсуву фази встановлюється в протилежному значенні до кута зсуву фази одного з трьох векторів відбитого сигналу, тобто $\varphi_k = \varphi_3 - 180^\circ$.
- 1.2) амплітуда вектору встановлюється на рівні половини амплітуди сумарного вектору відбитих сигналів на частоті $f=0$, тобто $a_k = a_\Sigma / 2$.

2. Досліджується кривизна оновленої амплітудно-частотної характеристики сумарного відбитого сигналу з урахуванням компенсуючого вектора та визначаються характеристичні перепади. Наявність таких перепадів свідчить про те, що вектор третього відбитого сигналу некомпенсований. При введенні компенсуючого вектору можливі наступні випадки [3]:

- $\bar{a}_k = \bar{a}_3$ – повна компенсація вектору третього відбитого сигналу.
- $\bar{a}_k < \bar{a}_3$ – недокомпенсація вектору третього відбитого сигналу;
- $\bar{a}_k > \bar{a}_3$ – перекомпенсація вектору третього відбитого сигналу;

За наявності у сумарному сигналі 4-х та більше складових, механізм пошуку вектору компенсації потрібно застосувати для компенсації кожної зі складових. В цьому випадку похибка визначення однієї складової буде акумулюватись та додаватись приводячи до зростання похибок визначення компенсуючих векторів інших складових. Таким чином, в методі послідовного наближення відбувається як мінімум маніпулювання амплітудою сумарного сигналу без врахування фізичної суті процесу.

Застосування запропонованого методу на практиці має наступні проблеми в реалізації:

1. Амплітуда сумарного сигналу. У виразі (4) необхідно визначати амплітуду сумарного сигналу на частоті $f=0$. Однак враховуючи зміни параметрів лінії (див. Рис. 2) на низьких частотах коефіцієнти відбиттів від пошкоджень є залежними від частоти вхідного сигналу. Тому амплітуди відбиттів на дуже низьких частотах будуть відрізнятися від амплітуди відбиттів на більш високих частотах.

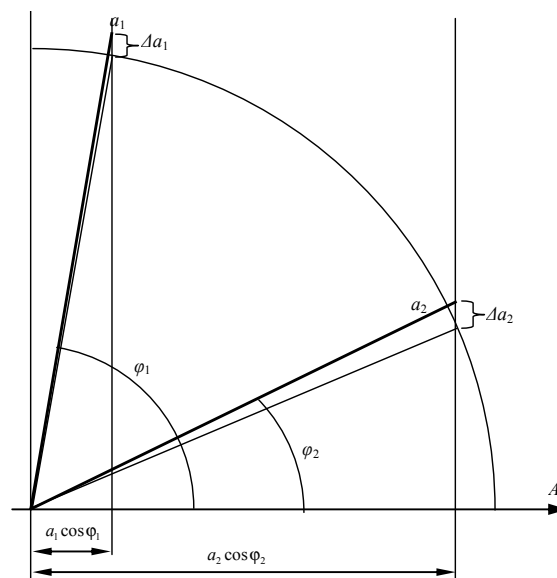


Рис. 7. Похибка амплітуди та фази

2. Вимірювання значення амплітуди. При застосуванні АЦП на 24 розряди, а це враховуючи те, що частоти вхідного сигналу знаходяться в межах до 1 МГц є досяжною величиною, відносна похибка вимірювання амплітуди можна оцінити в межах:

$$\delta U = \frac{100\%}{2^{24}} = 5,96 \times 10^{-6} (\%),$$

і це без врахування похибки встановлення амплітуди вхідного сигналу, похибки обумовленої наявністю вищих гармонік у сигналі опорного генератора.

3. Вимірювання значення кута зсуву фази. Як показано в роботі [7], для перспективного вимірювача кута зсуву фази відносна похибка вимірювання кута зсуву фази можна також оцінити в межах (для 1 кГц):

$$\delta \varphi = \frac{0,00001^\circ}{360^\circ} \times 100\% = 2,77 \times 10^{-6} (\%).$$

Для більшої частоти точність вимірювання кута зсуву фази буде зменшуватись. А враховуючи, що типовий вираз (1) працює з тригонометричним виразом $a_i \cos(\omega t + \varphi_i)$, то похибки вимірювання амплітуди або фази призведуть до похибок оцінювання значення вектора, що компенсує:

$$\delta a_i = a_i \cos(\omega t + \varphi_i) - [a_i + \Delta a_i] \cos(\omega t + [\varphi_i + \Delta \varphi_i]),$$

Наближення кута зсуву фази до 0 веде до зростання похибки оцінювання амплітуди вектору відбиття.

Висновки

Таким чином, практична імплементація та застосування приведених методів пошуку складових сумарного сигналу вимагає розв'язання складної системи рівнянь з багатьма невідомими. Це ускладнює вимірювання відстані до пошкоджень у лініях зв'язку. Вимагає великих обчислювальних потужностей та спеціалізованого програмного забезпечення. Обмежуючим фактором є також і кінцева кількість пошкоджень. Для розв'язку систем рівнянь потрібно знати кількість, або штучно обмежуватись їх кількістю. Також не знайшло виділення розміру об'єкту відбиття.

Враховуючи це, розглянуті методи мають обмежене застосування і не можуть бути рекомендовані до використання в сучасній радіовимірвальній техніці.

Література

1. Исследование объектов с помощью пикосекундных импульсов / Г.В. Глебович, А.В. Андриянов, Ю.В. Введенский и др.; Под ред. Г.В. Глебовича. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с., ил.
2. Любчик В.Р. Вимірювання відстаней в радіолокації до трьох об'єктів / В.Р. Любчик, О.І. Гнатюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – №4. – Ч.1. – Т.1. – С. 239-242.
3. Любчик В.Р. Вимірювання відстаней до трьох об'єктів / В.Р. Любчик, О.І. Гнатюк // – Вісник Технологічного університету Поділля. – №2. – 2005. – С.183-188
4. Любчик В.Р. Розробка фазового методу вимірювання відстаней до двох об'єктів // Вісник технологічного університету Поділля. – 2004. – № 2. – С. 108-114.
5. Маевский С.М. Применение методов фазометрии для прецизионного измерения расстояний / С.М. Маевский, В.Г. Баженов, Е.К. Батуревич, Ю.В. Куц. – К.: Вища школа. Изд-во при Киев. ун-те, 1983. – 84 с.
6. Горященко К.Л. Импульсно-фазові вимірювання для лінії із двома неоднорідностями / К.Л. Горященко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький. – 2003. – № 1. – С. 80-82.
7. Гула І.В. Властивості методу коінцидентії для вимірювання фазових зсувів сигналів / І.В. Гула // Дванадцята міжнародна науково-технічна конференція "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах" (ВОТТП_12_2013), 3-8 червня 2013р.: тези доповідей. – Одеса. – С. 63-64.

References

1. Issledovanie ob'ektov s pomoshh'ju pikosekundnyh impul'sov / G.V. Glebovich, A.V. Andriyanov, Ju.V. Vvedenskij i dr.; Pod red. G.V. Glebovicha. – M.: Radio i svjaz', 1984. – 256 s., il.
2. Ljubchik V.R. Vimirjuvannja vidstanej v radiolokacii do tr'oh ob'ektiv / V.R. Ljubchik, O.I. Gnatjuk // Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. – 2005. – №4. – Ch.1. – T.1. – S. 239-242.
3. Ljubchik V.R. Vimirjuvannja vidstanej do tr'oh ob'ektiv / V.R. Ljubchik, O.I. Gnatjuk // – Visnik Tehnologichnogo universitetu Podillja. – №2. – 2005. – S.183-188
4. Ljubchik V.R. Rozrobka fazovogo metodu vimirjuvannja vidstanej do dvoh ob'ektiv // Visnik tehnologichnogo universitetu Podillja. – 2004. – № 2. – S. 108-114.
5. Maevskij S.M. Primenenie metodov fazometrii dlja precizionnogo izmerenija rasstojanij / S.M. Maevskij, V.G. Bazhenov, E.K. Baturevich, Ju.V. Kuc. – K.: Vishha shkola. Izd-vo pri Kiev. un-te, 1983. 84 s.
6. Gorjashhenko K.L. Impul'sno-fazovi vimirjuvannja dlja liniij iz dvoma neodnorodnostjami / K.L. Gorjashhenko // Vimirjuval'na ta obchisljuval'na tehnika v tehnologichnih procesah. – Hmel'nic'kij. – 2003. – № 1. – S. 80-82.
7. Gula I.V. Vlastivosti metodu koincidencei dlja vimirjuvannja fazovih zsuviv signaliv / I.V. Gula // Dvanadcjata mizhnarodna nauko-ve-tehnicna konferencija "Vimirjuval'na ta obchisljuval'na tehnika v tehnologichnih procesah" (VOTTP_12_2013), 3-8 chervnja 2013r.: tezi dopovidej. – Odesa. – S. 63-64.

Рецензія/Peer review : 27.04.2018 р.

Надрукована/Printed :16.05.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису
<http://vestnik.ho.com.ua/rules/>

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 11 від 23.05.2018 р.**

Підп. до друку 25.05.2018 р. Ум.друк.арк. 19,63 Обл.-вид.арк. 25,53
Формат 30х42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
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