ISSN 2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

1.2018

ВІСНИК

Хмельницького національного університету

Технічні науки
Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2018, Issue 1, Volume 257

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, № 1 (257)

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

Включено до наукометричних баз:

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

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

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

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

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

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету, протокол № 10 від 30.01.2018 р.

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

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

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

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

ЗМІСТ

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

V.V. MARTYNYUK, J.M. BOIKO, TOMASZ KAŁACZYŃSKI
SUPERCAPACITOR QUALITY CONTROL 7

I. KOVTUN, J. BOIKO, S. PETRASHCHUK
ACOUSTIC EMISSION APPLICATION FOR NONDESTRUCTIVE STRENGTH DIAGNOSTICS OF PRINTED CIRCUIT BOARDS 12

L.M. KUPERSHTEIN, O.P. VOYTOVYCH, V.A. KAPLUN, S.O. PROKOPCHUK
THE DATABASE-ORIENTED APPROACH TO FILES PROTECTION IN ANDROID OPERATION SYSTEM 18

О.С. САВЕНКО
КРИТЕРІЇ КЛАСИФІКАЦІЇ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ 23

Б.Б. БАНІТ, С.Р. КРАСИЛЬНИКОВ
ВИБІР ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КОНТЕНТОМ ДЛЯ ПОБУДОВИ КОРПОРАТИВНОГО САЙТУ 28

І.В. КАРПЕНКО, В.Г. КОЛОБРОДОВ, Б.В. СОКОЛ
ПОЛЯРИЗАЦІЙНИЙ МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ТЕПЛОКОНТРАСТНОЇ ЦІЛІ НА ФОНІ ЗАВАД 33

В.В. ЖЕЛЄЗНЯК, О.А. МЯСІЩЕВ
МЕТОД МОНІТОРИНГУ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ СПІЛЬНОГО АНАЛІЗУ ТИМЧАСОВИХ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕКА ПРОТОКОЛІВ TCP / IP 38

Ю.П. КЛЬОЦ, Ю.В. ВОЙТКОВ, В.М. СТЕЦЮК, Є.С. ШАХОВАЛ
МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ВИВЧЕННЯ СЛІВ ІНОЗЕМНИХ МОВ 43

В.В. ЛАВРІНЧУК, В.М. ЧЕШУН, В.І. ЧОРНЕНЬКИЙ
ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ НЕЙРОМЕРЕЖНОЇ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ СИМВОЛІВ НОМЕРНИХ ЗНАКІВ 48

Г.І. РАДЕЛЬЧУК
МЕТОДИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ РОБОТИ З КИРИЛИЦЕЮ У КОНСОЛЬНИХ С-ПРОГРАМАХ 54

О.В. МАЗУРЕЦЬ, О.В. КОВАЛЬЧУК, В.О. СЛОБОДЗЯН
ВИКОРИСТАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ПРОГРАМНИХ РОЗШИРЕНЬ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОБОТИ З ЦИФРОВИМИ ДОКУМЕНТАМИ НАВЧАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ 61

С.С. ПЕТРОВСЬКИЙ
АНАЛІЗ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ СЕРЕДНІХ ЗАГАЛЬНООСВІТНІХ ШКІЛ 70

І.І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ, А.В. ТКАЧУК
ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТАНЬ ОПТИМАЛЬНОГО ВИБОРУ МІРНОСТІ ДИСКРЕТНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є ПРИ ВИЯВЛЕННІ ТА РОЗРІЗНЕННІ СИГНАЛІВ НА ФОНІ БІЛОГО ШУМУ 73

О.А. МЯСІЩЕВ, В.В. ШВЕЦЬ
РЕЖИМИ ПОЛЬОТУ КОНТРОЛЕРІВ ПОЛЬОТУ APM 2.6 І PIXHAWK БПЛА 78

В.С. ОСАДЧУК, О.В. ОСАДЧУК, Л.В. КРИЛИК, О.О. СЕЛЕЦЬКА, В.В. МАРТИНЮК
МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ «ВОЛОГІСТЬ – ЧАСТОТА» З ЄМНІСНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ НА ОСНОВІ ВОЛОГОЧУТЛИВИХ ПОРИСТИХ ШАРІВ 83

А.Ю. ВОЛОВИК, О.В. ОСАДЧУК, М.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ, О.П. ЧЕРВАК, М.А. ШУТИЛО
ДІАГНОСТИКА РАПТОВИХ ЗМІН У ДИНАМІЦІ ОБ'ЄКТІВ КОНТРОЛЮ 88

Н.Я. ВОЗНА
МЕТОД СТРУКТУРИЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ ДЛЯ ВІДОБРАЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СТАНІВ НА ЕЛЕКТРИЧНІЙ ПІДСТАНЦІЇ 94

С.М. БОЙКО, А.В. НЕКРАСОВ, С.Я. ВИШНЕВСЬКИЙ, О.М. НАНАКА
ОСОБЛИВОСТІ РЕЖИМІВ КОМПЛЕКСУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ-ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ГВК ПІД ЧАС ВПРОВАДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID 102

В.М. СОКУРЕНКО, М.М. ВАКУЛЕНКО
АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК ОКУЛЯРІВ З ДИФРАКЦІЙНИМИ ОПТИЧНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ 107

С.М. БОЙКО, О.С. ЧЕРНІХОВА, Ю.М. ШМЕЛЬОВ, С.І. ВЛАДОВ, С.Я. ВИШНЕВСЬКИЙ
СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ВИСУВНОЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА БАЗІ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН 113

V.V. ROMANUKE
FLEXIBILIZATION IN TARIFFING FOR PASSAGES BY POLISH PUBLIC TRANSPORT VIA PREPAID SERVICES AND GPS NAVIGATION WITH CONTROLLERS OF TIME AND DISTANCE 118

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Н.В. МИХАЙЛОВА, В.О. ПРИВАЛА
ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ РОБІТНИКІВ-АПАРАТНИКІВ ТА СЛЮСАРІВ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ 124

А.І. РУБАНКА, Г.М. ТОКАР, М.Д. СТЕЛЬМАХ, А.В. ГОРІНА, Н.В. ОСТАПЕНКО
ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ РІЗНОВИДІВ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ ДЛЯ ПІЛОТІВ ВІЙСЬКОВОЇ АВІАЦІЇ 129

Д.І. САПОЖНИК, О.М. КАРПЮК
ОДЯГ З КАМУФЛЯЖНИМ ЗАБАРВЛЕННЯМ ТА ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНИХ ВИМОГ ДО НЬОГО . 134

А. І. РУБАНКА, Н. В. ОСТАПЕНКО, Д. М. ДУБ, В. В. СЕМЕНЕНКО
УЗАГАЛЬНЕНА СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМФОРТНОСТІ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ 140

Г.О. КОСТЮК, Н.В. САДРЕТДІНОВА
ПРОЕКТУВАННЯ ВОЛОГОЗАХИСНОГО ОДЯГУ З ПРОГНОЗОВАНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ПАРОПРОНИКНОСТІ 144

О.С. ВАСИЛЬЄВА, О. М. ВОЛОВОДЮК, В.О. МУСІЄНКО, І.В. ВАСИЛЬЄВА
УКРАЇНСЬКА НАРОДНА ВИШИВКА ЯК ЕЛЕМЕНТ ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ СУЧАСНИХ КОЛЕКЦІЙ ОДЯГУ 150

І.О. ПРИХОДЬКО-КОНОНЕНКО, О.І. СТОРОЖУК, О.О. СЛІТЮК, К.М. ПЕТРОВА
ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ АВТОРСЬКОЇ КОЛЕКЦІЇ ЖІНОЧОЇ БІЛИЗНИ 154

Л.Є. ГАЛАВСЬКА, Н.О. АНТОНЮК, О.А. БАТРАК
ДОСЛІДЖЕННЯ СПОЖИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДВОШАРОВОГО ТРИКОТАЖУ БІЛИЗНЯНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ 162

М.С. ВИННИЧУК, І.В. ТОРАК, Г.С. РЕВІНА, Н.О. КОЛОТИЛО
ВИЯВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ КОМПОЗИЦІЙНО-КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЖІНОЧИХ ГОЛОВНИХ УБОРІВ 169

О.В. КИРИЧЕНКО, Л.В. ПЕЛИК
ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ ГЕОТЕКСТИЛЬНИХ НЕТКАНИХ МАТЕРІАЛІВ 176

Б.Б. ПЕТРУС, О.П. КОЗАРЬ, В.І. ХІМИЧ, Т.Т. РЕЙС
ОСОБЛИВОСТІ МОРФОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СТОП ЛЕГКОАТЛЕТІВ ВІКОВОЇ КАТЕГОРІЇ 12–16 РОКІВ 180

Н.І. АДАКІНА, Т.О. КОЛЕСНИК, О.А. АНДРЕЄВА
ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РІЗНИХ СПОСОБІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ШКІРЯНОГО ПЕРГАМЕНТУ 187

С.В. КОНОНЦЕВ, Ю.Р. ГРОХОВСЬКА, Л.А. САБЛІЙ, М.С. КОРЕНЧУК
ВИКОРИСТАННЯ ЧЕРЕВОНОГИХ МОЛЮСКІВ ДЛЯ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ НЕРОЗЧИНЕНИХ ЗАБРУДНЕНЬ ОБОРОТНОЇ ВОДИ УЗВ 193

С.Л. ГОРЯЩЕНКО, С.А. КАРВАН
МОДЕЛЮВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО РОЗПИЛЮВАЧА 198

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

O. MACHULIANSKYI
OPTICAL CHARACTERISTICS OF NANODIMENSIONAL PARTICLES OF CHROME 203

Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, Е.Д. КАРА
КИНЕМАТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ШЕСТИЗВЕННОГО РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА ПРИВОДА НОГИ ШАГАЮЩИХ МАШИН 208

В.Ю. ЩЕРБАНЬ, Н.І. МУРЗА, А.М. КИРИЧЕНКО, М.І. ШОЛУДЬКО
ВИЗНАЧЕННЯ НАТЯГУ НИТКИ ПІД ЧАС ЇЇ ВЗАЄМОДІЇ З ТРУБЧАСТИМИ СПРЯМОВУВАЧАМИ 213

Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, С.А. РОМАШКЕВИЧ
КИНЕТОСТАТИКА МОДИФИКАЦИЙ ГРУПП АССУРА ТРЕТЬЕГО КЛАССА ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА. ЧАСТЬ 2. МОДИФИКАЦИИ С ТРЕМЯ И ЧЕТЫРЬМЯ ПОСТУПАТЕЛЬНЫМИ КИНЕМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМИ 218

А.А. ОРГИЯН, В.В. СТРЕЛЬБИЦКИЙ
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ОБКАТЫВАНИЯ РОЛИКОМ НА ФОРМИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ 224

С.А. ПЛЕШКО, Ю.А. КОВАЛЬОВ
ВПЛИВ ЗМАЩЕННЯ ПАР ТЕРТЯ МЕХАНІЗМУ В'ЯЗАННЯ В'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН НА ДОВГОВІЧНІСТЬ РОБОТИ КЛИНІВ 228

В.В. СЛАВІН
ВПЛИВ КАТАЛІТИЧНОГО НЕЙТРАЛІЗАТОРА НА ТОКСИЧНІСТЬ ДВИГУНА З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ 232

О.В. ДЗЕРЖИНСЬКА
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ КРОКУЮЧОГО КРАНУ З ҐРУНТОМ 237

Л.М. ШУМИЛЯК, В.В. ЖИХАРЕВИЧ, С.Е. ОСТАПОВ
КЛІТИННО-АВТОМАТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ДОМІШКИ ПІД ЧАС КРИСТАЛІЗАЦІЇ РОЗПЛАВУ 242

О.І. НЕКОЗ, О.В. БАТРАЧЕНКО, Н.В. ФІЛІМОНОВА
ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ПИТОМОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ВОВЧКІВ 251

В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, Ю.М. КОРЕНЕЦЬ
ПРОЕКТУВАННЯ РОБОТОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ З ВИРОБНИЦТВА ХЛІБА ДЛЯ ТЕРИТОРІЙ З ТЕХНОГЕННИМ ТИСКОМ 256

И.Б. КОРНЕЕВА, Н.Г. СУРЬЯНИНОВ, А.С. ШИЛЯЕВ
КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ ИЗ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА 264

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

UDC 621.317.73

V.V. MARTYNYUK, J.M. BOIKO
Khmelnytsky National University
TOMASZ KAŁACZYŃSKI
UTP University of Science and Technology, Bydgoszcz, Poland

SUPERCAPACITOR QUALITY CONTROL

The paper deals with the peculiarities of supercapacitor quality control, which are based on the use of nonlinear characteristics of transient resistance and transient conductance of supercapacitors. The procedure for increasing the reliability of supercapacitor control has been suggested on the basis of minimizing the average supercapacitor control risks that do not depend on the probability densities of probe effects of supercapacitor voltage and current. The manuscript contains a methodological approach to increasing the reliability of the supercapacitor, which has been proposed in the context of a multi-parameter supercapacitor control by applying nonlinear, frequency dependent mathematical models of supercapacitors that take into account the nonlinearity, frequency dispersion of parameters and the effect of transient processes in supercapacitors. The article states that increase in the reliability of the supercapacitor control, and hence the quality of control, is possible when using supercapacitor characteristics, which contain information on the nominal values of the technical condition of supercapacitors in the range of changes in nominal voltages in the operating frequency range or in the operating time range. Results of the conducted experimental researches of supercapacitors show that their parameters are nonlinear and depend on the value of charge-discharge voltages and currents, as well as the speed of charge-discharge processes. Proven the nonlinear mathematical model of supercapacitors and the non-linearity of parameters of the elements included into the supercapacitor equivalent circuit. Development of mathematical models of supercapacitors that most accurately describe their parameters and characteristics is extremely important for reducing the average supercapacitor control risks.

Keywords: supercapacitor, quality control, transient resistance, transient conductance, average quality control risk.

В.В. МАРТИНЮК, Ю.М. БОЙКО
Хмельницький національний університет
TOMASZ KAŁACZYŃSKI
UTP University of Science and Technology, Bydgoszcz, Poland

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ СУПЕРКОНДЕНСАТОРІВ

В статті розглянуті особливості контролю якості суперконденсаторів, які базуються на використанні нелінійних характеристик його опору та провідності. Пропонується процедура підвищення надійності контролю суперконденсаторів. Рукопис містить методологічний підхід до підвищення надійності суперконденсатора, запропонований у контексті багатопараметричного суперконденсаторного регулювання шляхом врахування нелінійних, частотнозалежних математичних моделей суперконденсаторів, що враховують нелінійність, частотну дисперсію параметрів і ефект перехідних процесів у суперконденсаторах. Підвищення надійності контролю суперконденсаторів можливе при використанні характеристик суперконденсатора, що містять інформацію про номінальні значення технічного стану суперконденсаторів в діапазоні зміни номінальної напруги і робочому діапазоні частот. Результати проведених експериментальних досліджень суперконденсаторів показують, що їх параметри нелінійні і залежать від величини напруг і струмів заряду-розряду, а також від швидкості процесів заряду-розряду. Приведено нелінійну математичну модель суперконденсаторів та описано нелінійність параметрів елементів, що входять в еквівалентну схему заміщення суперконденсатора. Основою підвищення ефективності виробництва суперконденсаторів та забезпечення їх високої якості є вдосконалення методів та засобів контролю параметрів суперконденсаторів у процесі їх розробки, виробництва та експлуатації.

Ключові слова: суперконденсатор, контроль якості, перехідний опір, перехідна провідність, середній ризик контролю якості.

Introduction

Supercapacitors are polar electrochemical devices that are capable of storing and releasing electrical energy by internal redistribution of electrolyte ions. According to their electrical parameters, supercapacitors occupy an intermediate position between electrolytic capacitors of high capacitance and batteries, but according to the principle of operation differ from both of them [1, 2].

The low operating voltages of supercapacitors limit their range of applications, so separate supercapacitors are combined into blocks, connecting them serially. With such a connection, it is possible to get the required operating voltages of the block, maintaining the required capacitance values.

However, in case of a serial connection, the voltage between individual supercapacitors will not be equally distributed. It is conditioned by the technological dispersion of the capacitance and self-discharge current values of the individual supercapacitors. As a consequence, individual supercapacitors in the block may have uncontrolled overvoltage values at their outputs, which will result in their failure, and then the failure of the entire block of supercapacitors.

Also, experimental researches of supercapacitors show that their parameters are nonlinear and depend on the value of charge-discharge voltages and currents, as well as the speed of charge-discharge processes. This gives grounds to prove the nonlinear mathematical model of supercapacitors and the non-linearity of parameters of the

elements included into the supercapacitor equivalent circuit.

The basis of increasing the efficiency of supercapacitor production and ensuring their high quality is the improvement of methods and means of controlling the parameters of supercapacitors in the process of their development, production and operation. The notion of supercapacitor parameter control will be considered as verifying compliance of supercapacitor parameter values with the requirements of technical documentation and determining on this basis one of the specified types of supercapacitor technical condition: either working or defective.

When constructing devices for controlling the parameters of supercapacitors, it is necessary to take into account the properties that reflect their technical state.

When constructing devices for controlling the parameters of supercapacitors, it is necessary to take into account the properties that reflect their technical condition.

In addition to the nominal technical condition values of supercapacitors, such as capacitance C, active resistance R and self-discharge current I_{sd}, their quality is influenced by the change in these technical condition values due to frequency dispersion and nonlinearity: $R(\omega,u)$, $C(\omega,u)$, $I_{sd}(t,u)$.

Analysis of the latest researches and publications

In accordance with international documents and current state standards, a supercapacitor will be considered to be working, when all its parameters meet the requirements of the technical documentation for this supercapacitor, and if at least one of the parameters of a supercapacitor does not meet these requirements, then a supercapacitor will be considered to be defective [3].

In the process of development, production and operation of supercapacitors, the measurement control of their parameters is applied, which determines the values of supercapacitor parameters in relation to their permissible limit values by carrying out a measurement procedure.

Reliability of control is the degree of objective conformity of the result of control to the actual technical condition of the object, which is estimated by the probability of making the correct decision about the condition of the object of control [4]. The components of the general reliability of control are methodological and instrumental reliabilities of control [5]:

$$D_G = D_M \cdot D_I , \tag{1}$$

where D_M is methodological reliability of control; D_I is instrumental reliability of control.

Methodological reliability of control is calculated by the following formula [5]:

$$D_M = \frac{N_1}{N} ; \tag{2}$$

where N_1 is the number of exponents which characterize the technical condition of the object of control and are included into the mathematical model of control;

N is total number of exponents which characterize the technical condition of the object of control.

Instrumental reliability of control is defined by the probabilities of errors of the first and second kind respectively α i β [5]:

$$D_I = 1-\alpha-\beta , \tag{3}$$

where α is probability of errors of the first kind; β is probability of errors of the second kind.

Mathematical model for electromechanical supercapacitor parameter control

Let's consider a simplified mathematical model for controlling supercapacitor parameters in the stationary mode, which is based on a one-time measurement of capacitance C, active resistance R and self-discharge current I_{sd} of supercapacitors.

Depending on the measurement method, capacitance C and active resistance R of supercapacitors are measured either at the alternating current at one probe effect frequency ω_0 with one nominal constant voltage at the supercapacitor outputs U_{nom} or at the direct charge (discharge) current of supercapacitors I_0. Self-discharge current I_{sd} of supercapacitors is also measured at one nominal constant voltage at the supercapacitor outputs U_{nom}. As a result of such measurements, we get three measured values: r, c and i_{sd}.

Next, two hypotheses are put forward.

1. The basic hypothesis H_0 (the supercapacitor is working):

$$H_0 : r \in [R_{\min}, R_{\max}] \cap c \in [C_{\min}, C_{\max}] \cap i_{cp} \in [Isd_{\min}, Isd_{\max}] , \tag{4}$$

where R_{min}, R_{max}; C_{min}, C_{max} and Isd_{min}, Isd_{max} are limits of permissible interval for r, c and i_{sd} respectively.

2. Alternative hypothesis H_1 (the supercapacitor is defective):

$$H_1 : r \notin [R_{\min}, R_{\max}] \cap c \notin [C_{\min}, C_{\max}] \cap i_{cp} \notin [Isd_{\min}, Isd_{\max}] . \tag{5}$$

The reliability of supercapacitor parameter control is defined as the product of the methodological and the instrumental reliabilities of supercapacitor parameter control (1). In its turn, the methodological reliability of supercapacitor parameter control is defined by the ratio between the number of exponents characterizing the technical condition of the object of control and included to the mathematical model of control and the total number of exponents characterizing the technical condition of the object of control.

From this we can conclude that the simplified mathematical model for controlling the parameters of supercapacitors, which is based on the one-time measurement of capacitance C, active resistance R and self-discharge current I_{sd} of supercapacitors, is characterized by low methodological reliability of control.

It can be explained by the fact that for supercapacitors capacitance $C \neq$const, active resistance $R \neq$const and self-discharge current $I_{sd} \neq$const.

In case of a simplified model of supercapacitor parameter control, the number of exponents characterizing the technical condition of supercapacitors $N_1=3$ (capacitance, active resistance and self-discharge current). As for the total number of exponents characterizing the technical condition of supercapacitors, frequency dispersion and non-linearity of supercapacitor parameters ($R(\omega,u)$, $C(\omega,u)$, $I_{sd}(t,u)$) are equivalent to the increase in the total number of exponents characterizing the technical condition of supercapacitors. Hence, we can conclude that $N \neq N_1$ i $N >> N_1$, and the methodological reliability of supercapacitor parameter control for a simplified model of supercapacitor parameter control is much smaller than one.

$$D_M = \frac{3}{N} << 1. \tag{6}$$

The instrumental reliability of supercapacitor parameter control is defined by the expression (3), which includes the probabilities of errors of the first and second kind, α and β respectively. The probabilities of errors of the first and second kind are defined separately for the capacitance C, active resistance R and self-discharge current I_{cp} of supercapacitors according to the expressions:

$$\alpha_C = \int_{C_{\min}}^{C_{\max}} f(C)\left(\int_{-\infty}^{C_{\min}-C} f(\delta_C)d\delta_C\right)dC + \int_{C_{\min}}^{C_{\max}} f(C)\left(\int_{C_{\max}-C}^{\infty} f(\delta_C)d\delta_C\right)dC; \tag{7}$$

$$\beta_C = \int_{-\infty}^{C_{\min}} f(C)\left(\int_{C_{\min}-C}^{C_{\max}-C} f(\delta_C)d\delta_C\right)dC + \int_{C_{\max}}^{\infty} f(C)\left(\int_{C_{\min}-C}^{C_{\max}-C} f(\delta_C)d\delta_C\right)dC, \tag{8}$$

where $C_{\max}$, $C_{\min}$ are permissible maximal and minimal capacitance values for supercapacitors; $f(C)$ is density of probability of supercapacitor capacitance; $f(\delta_C)$ is density of probability of supercapacitor capacitance measurement error.

$$\alpha_R = \int_{R_{\min}}^{R_{\max}} f(R)\left(\int_{-\infty}^{R_{\min}-R} f(\delta_R)d\delta_R\right)dR + \int_{R_{\min}}^{R_{\max}} f(C)\left(\int_{R_{\max}-R}^{\infty} f(\delta_R)d\delta_R\right)dR; \tag{9}$$

$$\beta_R = \int_{-\infty}^{R_{\max}} f(R)\left(\int_{R_{\min}-R}^{R_{\max}-R} f(\delta_R)d\delta_R\right)dR + \int_{R_{\max}}^{\infty} f(R)\left(\int_{R_{\min}-R}^{R_{\max}-R} f(\delta_R)d\delta_R\right)dR, \tag{10}$$

where $R_{\max}$, $R_{\min}$ is permissible maximal and minimal active resistance values for supercapacitors; $f(R)$ is density of probability of supercapacitor active resistance; $f(\delta_R)$ is density of probability of supercapacitor active resistance measurement error.

$$\alpha_{Isd} = \int_{Isd_{\min}}^{Isd_{\max}} f(Icp)\left(\int_{-\infty}^{Isd_{\min}-Isd} f(\delta_{Isd})d\delta_{Isd}\right)dIsd + \int_{Isd_{\min}}^{Isd_{\max}} f(Icp)\left(\int_{Isd_{\max}-Isd}^{\infty} f(\delta_{Isd})d\delta_{Isd}\right)dIsd; \tag{11}$$

$$\beta_{Isd} = \int_{-\infty}^{Isd_{\min}} f(R)\left(\int_{Isd_{\max}-Isd}^{Isd_{\max}-Isd} f(\delta_{Isd})d\delta_{Isd}\right)dIsd + \int_{Isd_{\max}}^{\infty} f(Isd)\left(\int_{Isd_{\min}-Isd}^{Isd_{\max}-Isd} f(\delta_{Isd})d\delta_{Isd}\right)dIsd, \tag{12}$$

where $Isd_{\max}$, $Isd_{\min}$ are permissible maximal and minimal self-discharge current values for supercapacitors; $f(Isd)$ is density of probability of supercapacitor self-discharge current; $f(\delta_{Isd})$ is density of probability of supercapacitor self-discharge current measurement error.

The general probabilities of errors of the first and second kind, α and β respectively, are defined by the expressions:

$$\alpha = 1-(1-\alpha_C)(1-\alpha_R)(1-\alpha_{Isd}); \tag{13}$$

$$\beta = 1-(1-\beta_C)(1-\beta_R)(1-\beta_{Isd}). \tag{14}$$

Then, the general reliability of supercapacitor parameter control for a simplified model of parameter control is defined by the expression:

$$D_G = D_M \cdot D_I = \frac{3}{N}\cdot(1-\alpha-\beta) << 1. \tag{15}$$

Assessment of supercapacitor control quality for a simplified model can also be performed using the formula of average control risk:

$$\Psi \approx W_{1R}\alpha_R + W_{2R}\beta_R + W_{1C}\alpha_C + W_{2C}\beta_C + W_{1Isd}\alpha_{Isd} + W_{2Isd}\beta_{Isd}, \quad (16)$$

where W_{1R}, W_{1C} and W_{1Isd} are losses due to errors of the first kind for each parameter r, c and i_{sd} respectively;
W_{2R}, W_{2C} and W_{2Isd} are due to errors of the second kind for each parameter r, c and i_{sd} respectively;
α_R, α_C and α_{Isd} are probabilities of errors of the first kind for each parameter r, c and i_{sd} respectively;
β_R, β_C and β_{Isd} are probabilities of errors of the second kind for each parameter r, c and i_{sd} respectively.

Increase in the reliability of supercapacitor control, and hence the quality of control, is possible when using supercapacitor characteristics that contain information on the nominal values of technical condition of supercapacitors in the range of changes in nominal voltages in the operation frequency range or in the operation time range. Such characteristics include nonlinear complex resistance $Z(j\omega, u)$ (or nonlinear resistance $Z(s,u)$ and nonlinear transient resistance $z(t,u)$ of supercapacitors, related to each other by inverse and direct Laplace transforms:

$$Z(s,u) = L^{-1}\left[z(t,u)\right]; \quad (17)$$

$$z(t,u) = L\left[Z(s,u)\right], \quad (18)$$

where $s = j\omega$ is complex frequency.

The supercapacitor's input is supplied with either the probe voltage $u_p(t)$ or probe current $i_p(t)$, and either the current $i_m(t)$ through the supercapacitor or the voltage $u_m(t)$ at the supercapacitor is measured. Operators Z or Y determine the complex of mathematical operations over $u_p(t)$ or $i_p(t)$ which allow obtaining $i_m(t)$ or $u_m(t)$ respectively:

$$i_m(t) = Z\left[u_p(t)\right]; \quad (19)$$

$$u_m(t) = Y\left[i_p(t)\right]. \quad (20)$$

Let's consider that the probe voltage $u_p(t)$ and the probe current $i_p(t)$ are observed without an error, and the measured voltage $u_m(t)$ and the measured current $i_m(t)$ are observed with errors

$$i_m^*(t) = i_m(t) + \Delta i_m(t); \quad (21)$$

$$u_m^*(t) = u_m(t) + \Delta u_m(t). \quad (22)$$

where $\Delta i_m(t)$ and $\Delta u_m(t)$ are stationary random processes with known characteristics.

Hence, we can conclude that in the process of supercapacitor control it is necessary to obtain a rating of the defined operators Z_m and Y_m approaching the operators Z and Y which describe the properties of supercapacitors. Taking into account the fact that operators Z or Y are in most cases unknown, to describe supercapacitors their mathematical models characterized by operators $Z_м$ or $Y_м$ are used [6-8].

The criterion for estimating the proximity of operators Z_m, Y_m, and $Z_м$, $Y_м$ is approximation of the measured voltage $u_m(t)$ and the measured current $i_m(t)$ to the voltage $u_м(t)$ and current $i_м(t)$ of the model at the similar probe effects of $i_p(t)$ and $u_p(t)$ respectively. Let's introduce positive functions of losses $\eta_u\left[u_m(t), u_м(t)\right]$ or $\eta_i\left[i_m(t), i_м(t)\right]$ which depend on the measured voltage and current of an supercapacitor and its model, and also determine the amount of losses connected with different combinations of $u_m(t)$, $u_м(t)$ and $i_m(t)$, $i_м(t)$. Average loss or average risk is defined by the mathematical expectations of loss functions $\eta_u\left[u_m(t), u_м(t)\right]$ or $\eta_i\left[i_m(t), i_м(t)\right]$:

$$\bar{\Psi}_u = M\left\{\eta_u\left[u_m(t), u_м(t)\right]\right\}; \quad (23)$$

$$\bar{\Psi}_i = M\left\{\eta_i\left[i_m(t), i_м(t)\right]\right\}. \quad (24)$$

On the other hand, average risks are defined by expressions:

$$\bar{\Psi}_u = \iint \eta_u(u_m, u_м) f_u(u_m, u_м) du_m du_м; \quad (25)$$

$$\bar{\Psi}_i = \iint \eta_i(i_m, i_м) f_i(i_m, i_м) di_m di_м, \quad (26)$$

where $f_u(u_m, u_м)$ and $f_i(i_m, i_м)$ are voltage and current probability functionals.

Expressions (25) and (26) can be simplified, if the nonlinear transient resistance $z(t,u)$ and nonlinear transient conductance $y(t,i)$ of supercapacitors are monotone functions, and probe signals $u(t)$ and $i(t)$ are stationary:

$$\bar{\Psi}_u = \int_{u \in U} \eta_u\left[z_m(t,u), z_м(t,u)\right] f_u(u)\, du; \quad (27)$$

$$\bar{\Psi}_i = \int_{i \in I} \eta_i\left[y_m(t,i), y_м(t,i)\right] f_i(i)\, di, \quad (28)$$

where U is definition domain of u;

I is definition domain of i.

Deviation of the defined nonlinear transient resistance $z_m(t,u)$ from the nonlinear transient resistance of the model $z_м(u)$, as well as deviation of the defined nonlinear transient conductance $y_m(t,i)$ from the nonlinear transient conductance of the model $y_м(t,i)$ may be estimated by the criterion of regular approximation (maximum deviation of characteristics):

$$m_u = \max_{u\in U} \left| z_m(t,u) - z_м(t,u) \right| ; \tag{29}$$

$$m_i = \max_{i\in I} \left| y_m(t,i) - y_м(t,i) \right| . \tag{30}$$

Let's choose such mathematical models of supercapacitors $z_м(t,u)$ and $y_м(t,i)$ which will satisfy the criteria of regular approximation in the ranges of change in the probe voltage $u_з(t)$ and current $i_з(t)$ of supercapacitors.

Let's define the average risk of supercapacitor control for the following loss functions $\eta_u = \left| z_m(t,u) - z_м(t,u) \right|^k$ and $\eta_i = \left| y_m(t,i) - y_м(t,i) \right|^k$:

$$\bar{\Psi}_u = \int_{u\in U} \left| z_m(t,u) - z_м(t,u) \right|^k f_u(u)du \le \int_{u\in U} m_u^k f_u(u)du = m_u^k ; \tag{31}$$

$$\bar{\Psi}_i = \int_{i\in I} \left| y_m(t,i) - y_м(t,i) \right|^k f_i(i)di \le \int_{i\in I} m_i^k f_i(i)di = m_i^k . \tag{32}$$

The advantage of the obtained expressions of the average supercapacitor control risks (31) and (32) in comparison with the expressions (25) and (26) is the possibility of calculating the maximum values of the average supercapacitor control risks that do not depend on the probability densities $f_u(u)$ and $f_i(i)$ of EC voltage and current probe effects [9].

Conclusions

1. Analysis of the expressions of the average supercapacitor control risks (31) and (32) shows that development of mathematical models of supercapacitors that most accurately describe their parameters and characteristics is extremely important for reducing the average supercapacitor control risks.

2. The methodological approach to increasing the reliability of supercapacitor electrical parameter control has been proposed, in terms of multi-parameter supercapacitor control by applying nonlinear, frequency dependent mathematical models of supercapacitors that take into account nonlinearity, frequency dispersion of parameters and the effect of transient processes in supercapacitors.

3. The procedure for increasing the reliability of supercapacitor control has been suggested on the basis of minimizing the average supercapacitor control risks that do not depend on the probability densities of probe effects of supercapacitor voltage and current.

References

1. Conway B. E. Electrochemical Supercapacitors: Scientific Principles and Technological Application / B. E. Conway. – New York : Plenum, 1999. – P. 435.

2. Martynyuk V. V. Fractional Model of an Electrochemical Capacitor / V. V. Martynyuk, M. D. Ortigueira // Journal of Signal Processing. – 2015. – V. 107. – P. 355–360.

3. IEC Publication 50 (191) June 1988: Chapter 191 of the IEV: Reliability, maintainability and quality of service.

4. Radford, George S. The Control of Quality in Manufacturing, New York: Ronald Press Co.

5. Montgomery D. C. and Runger G.C. Applied Statistics and Probability for Engineers. 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York, 1999.

6. Martynyuk V., Vdovin O., Boyko J. and. Vlasenko N. "Super-high capacitor analyzer with compensation of common-mode error," in Proc. IMECO TC-4, 2001, pp. 340–343.

7. Martynyuk V., Makaryshkin D., Boyko J. "Frequency Domain Analysis for Electrochemical Supercapacitors" in Proc. IMEKO TC-4, 2007, pp. 357–361.

8. Martyniuk V.V. Energy Efficient University Solar Power Station / V.V. Martyniuk, J.M. Boiko // Bulletin of the Kiev National University of Technology and Design. Series: Engineering: Sciences. profession. kind. – Kyiv, 2017. – No. 5 (114). – P. 72–80.

9. Martynyuk V. V. Enhancing energy efficiency of Khmelnytskyi national university / V. V. Martynyuk, J. M. Boiko // Actual problems of modern science : Monograph / ed. by Musial Janusz, Polishchuk Oleh, Sorokatji Ruslan. – Bydgoszcz, 2017. – P. 748-753. – ISBN 978-83-938655-3-6.

Рецензія/Peer review : 25.11.2017 р. Надрукована/Printed :28.01.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

UDC 621.396.6.019.3 : 620.172.21

I. KOVTUN, J. BOIKO, S. PETRASHCHUK
Khmelnytsky National University

ACOUSTIC EMISSION APPLICATION FOR NONDESTRUCTIVE STRENGTH DIAGNOSTICS OF PRINTED CIRCUIT BOARDS

The paper represents developing nondestructive method for strength diagnostics of solder joints on printed circuit boards with application of acoustic emission method. Solder joints studied in the current research were performed by through-hole technology. The research methods involved static mechanical tensile and bend tests, and acoustic emission method. First solder joint strength research was conducted by static mechanical tensile tests. The batch of solder joints were tested in three equal groups: solder joints, which had no defects; solder joints, which had "cold solder" defect; solder joints, which had "low solder adhesion" defect. The load was applied with the constant speed. During the test the following acoustic emission parameters were recorded: amplitude; activity; total count in order to assess acoustic emission parameters against types of defects and find their possible correlation. Strength diagnostics conducted for solder joints performed by through-hole technology on printed circuit boards by using methods of mechanical tests with simultaneous monitoring both mechanical characteristics and acoustic emission parameters allowed to find the relationship between parameters of acoustic emission and such defects of solder joints as "cold joint" and "low solder adhesion". The pure bending technique has been developed to perform flexure tests on printed circuit boards, which provides equal testing stress condition over the printed circuit board and allows to estimate maximal acceptable load for nondestructive tests. The testing was considered to conduct in multiple load and unload cycles. The tests were conducted for the batch of double sided fiberglass foil laminated printed circuit boards, which were prepared and sorted into three equal groups by defects embedded into their solder joints. Acoustic emission data analysis indicated total count as the most informative parameter to correlate with various types of solder joint defects. Conducted experiments gave the reason to use identified character of acoustic emission to develop methods for strength diagnostics of solder joints on printed circuit boards.

Keywords: acoustic emission, strength, diagnostics, printed circuit board, solder joint

І.І. КОВТУН, Ю.М. БОЙКО, С.А. ПЕТРАЩУК
Хмельницький національний університет

ЗАСТОСУВАННЯ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ДЛЯ НЕРУЙНІВНОЇ ДІАГНОСТИКИ МІЦНОСТІ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

У роботі представлено розробку неруйнівного методу для діагностики міцності паяних з'єднань на друкованих платах із застосуванням методу акустичної емісії. Паяні з'єднання, досліджені в даному дослідженні, були виконані за технологією навісного монтажу. Методи дослідження включали статичні механічні випробування на розтяг та згин, а також метод акустичної емісії. Дослідження на розтяг було здійснено для партії паяних з'єднань поділеної на три рівні групи: паяні з'єднання, які не мали дефектів; паяні з'єднання, які мали дефект типу "холодна пайка"; паяні з'єднання, які мали дефект типу "неспай". Механічне навантаження подавали із постійною швидкістю. Під час випробування було зареєстровано наступні параметри акустичної емісії: амплітуда; активність; загальний рахунок, з метою порівняння параметрів акустичної емісії з типами дефектів і знаходження їх можливої кореляції. Проведена діагностика міцності за допомогою методів механічного навантаження з одночасною реєстрацією як механічних характеристик, так і параметрів акустичної емісії, дозволила виявити зв'язок між параметрами акустичної емісії та дефектами пайки. Технологія чистого згину була розроблена для проведення випробувань на згин на друкованих платах, що забезпечувало рівномірне навантаження друкованої плати та дозволило оцінити максимальне допустиме навантаження для неруйнівних випробувань. Випробування проводилися в багаторазових циклах навантаження та розвантаження. Випробування проводилися для партії двосторонніх фольгованих склопластикових друкованих плат, які були підготовлені та сортовані по трьох рівних групах із заданими дефектами. Аналіз даних акустичної емісії виявив загальний рахунок як найбільш інформативний параметр для кореляції із різними типами дефектів паяних з'єднань. Проведені експерименти дають підстави використовувати ідентифікований характер акустичної емісії для розробки методів діагностики міцності паяних з'єднань друкованих плат.

Ключові слова: акустична емісія, міцність, діагностика, друкована плата, паяне з'єднання.

Introduction

Complexity and micro-miniaturization in electronic and computer production technologies constantly increase quality and reliability standards for their components. Printed circuit boards (PCB) are considered the main building blocks of modern electronics, which represent assemblies purposed to electrically connect and, what is also important, mechanically support electronic components. However operation and even technology cause mechanical interactions and forces [1], acting between PCB substrate and electronic components, and spreading through their links. Such tensile, shear, bending or torque forces cause strain and stress in substrates, which are subsequently transmitted to the bodies of components through the contact joints, which appear to be the weakest links in the assembly. The damages of the joints cause failures of the whole electronic units and therefore require detailed studying.

The general technology for components' installation onto the PCBs remains soldering although quality of soldered joints (SJ) is not always achievable due to numerous defects. Therefore one of the primary tasks to provide reliability to SJs is to apply and improve their testing methods. The range of methods for non-destructive or destructive SJ tests provided by the state standard [2, 3] does not always provide proper quality selection. SJs studied in the current research were performed by through-hole technology (THT). The research methods involved static mechanical tensile and bend tests, and acoustic emission (AE) method.

Features of acoustic emission as nondestructive evaluation method

Application of electrical and physical methods for SJ quality control attracts close attention nowadays. In

accordance to [4] these methods include electro-parametric, noise, acoustic emission, exoelectronic emission, photovoltaic and recombinant radiation methods. Among these methods, the most of which have range of intrinsic disadvantages such as high cost and complexity of measuring instrumentation, method of acoustic emission recently hastened its growth due to its high applicability for nondestructive diagnostics and prediction of strength of technical objects in general and of electronic equipment in particular. Table 1 represents characteristics of AE methods in comparison with other nondestructive evaluation (NDE) methods.

Table 1

Comparative characteristics of acoustic emission methods against other NDE methods

Acoustic emission method	Other NDE methods
Detection of defects in progression	Detection of defects geometry
Load application is required for tests	Load application is not required for tests
Each test is unique	Tests are replicable
High sensitivity to material consistency	Low sensitivity to material consistency
Low sensitivity to geometry of tested object	High sensitivity to geometry of tested object
Simplicity of application	Complexity of application
Transducers require minor attachment area to fulfil monitoring of the entire tested object	Tests require reach to the full surface of tested object
The object is completely monitored by the single test	Subsequent monitoring parts of the object is required
Difficulties: sensitivity to noise	Difficulties: dependence on object geometry

Acoustic emissions [5] are pressure waves generated due to transient release of energy when a material is subjected to mechanical, in this case, thermal or chemical changes causing irreversible deformations or changes in atomic arrangement. The energy released travels as a spherical wavefront and is converted as electrical signal by transducers placed on surface of the material (fig. 1). The transducer output is filtered and amplified to eliminate ambient noise and increase the signal-to-noise ratio.

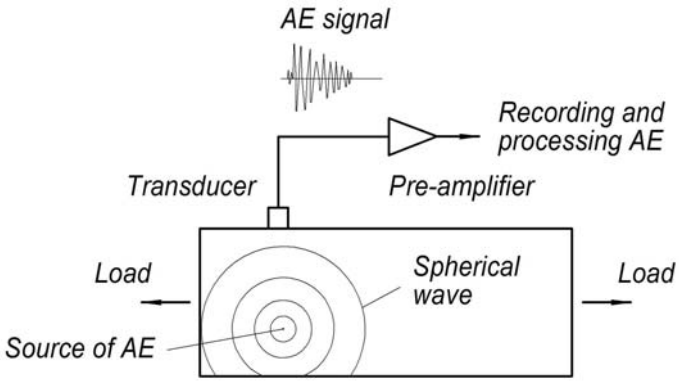


Fig. 1. The basic principle of acoustic emission generation and recording

For the analysis high frequency signal (fig. 2, a) received from the transducer is then processed to select oscillations (fig. 2, b) whose amplitudes exceed discrimination threshold of amplifier and then events (fig. 2, c). An event is considered as collection of oscillations, received within the time period of 1 ms, and then converted into one impulse of amplitude equal to maximal amplitude of oscillations collected.

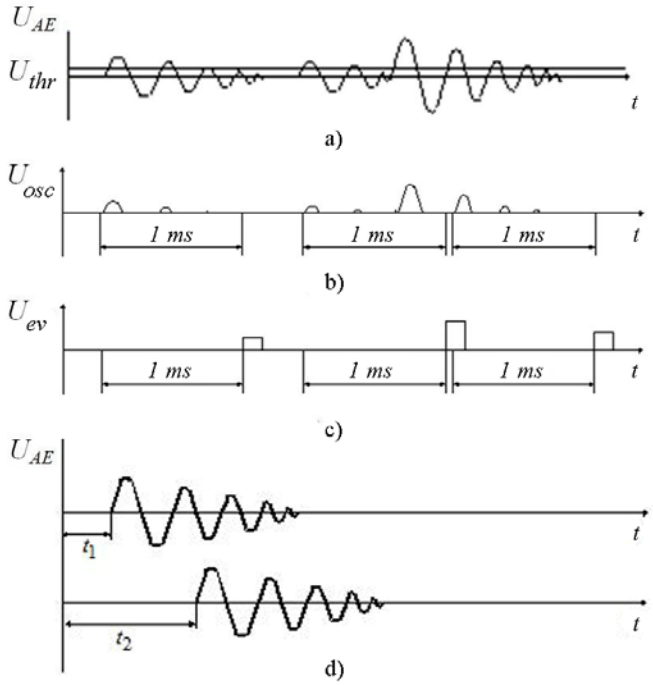


Fig. 2. Acoustic emission processing: a – acoustic emission in transducer output; b – oscillations selected; c – events converted; d – using Doppler effect for linear location

The common parameters of AE are: cumulative count of oscillations; time rate of oscillation count (count rate); cumulative count of events (total count); time rate of events count (activity); events amplitude; and linear coordinate of events, which is calculated using Doppler effect – by considering time difference of signal arrivals to two transducers $\Delta t = t_2 - t_1$ (fig. 2, d).

Acoustic emission application for solder joints tensile strength diagnostics

The soldered joint strength quality is assessed by tensile and shear ultimate strength determined by the design and technology factors.

The structure of THT solder joint consists of the metallized cylindrical hole with the electronic component lead inserted and bonded by solder alloy previously melted and filling the space around the lead and hole. The strength of such a joint is provided by the solder alloy joining lead and hole and reinforced by the through hole assembly of the joint. This joint appears to demonstrate higher resistance to shear load, due to locking effect that the hole

provides to the inserted lead, unlike the tensile one.

Therefore the solder joints strength research was conducted by static mechanical tensile tests. For the experiment SJs of MLT2 resistors were taken, which were installed by THT technology on the PCB into 2 mm contact pads. The load was applied by the tensile machine IP-5057-50 with 500 N ultimate load. The load measurement tolerance was under 1 % of maximal load.

The test was performed so that one lead of the resistor was soldered to metallized hole in PCB with tin-lead alloy and fixed in the upper clamps of tensile machine. PCB was firmly fixed in custom lower clamps of the machine. The load scheme is shown in fig. 3.

Tests were conducted with an assumption that quality and hence strength of the solder joint is reduced by its defects, which are likely to appear due to variety of technological causes. In order to be able to detect defects or razor to identify reduction of SJ strength caused by defects the tests were performed for SJs with predetermined defects. For this reason the most common defects such as “cold solder” and “low solder adhesion” were embedded into the joints.

All together 60 solder joints were tested: 20 SJs had no defects; 20 SJs had “cold solder” defect; 20 SJs had “low solder adhesion” defect. The load was applied with the constant speed of 0.1 mm per minute. During the test the following AE parameters were recorded: amplitude; activity; total count in order to assess acoustic emission parameters against types of defects and find their possible correlation.

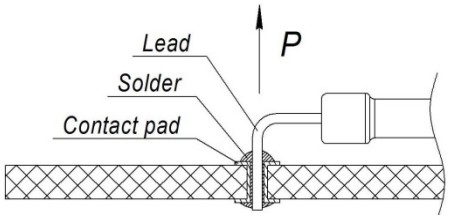


Fig. 3. Solder joint tensile test load scheme

The experiments indicated the lowest tensile strength for SJs having “low solder adhesion” defect. The ultimate load sustained by SJs with such defects was 30-40 N. In the end, the leads were pulled out of the solder with no acoustic emission detected.

Since the case when leads are not wetted completely is very unlikely, studying SJs with partly wetted leads would be more reasonable. Therefore, in further experiments, the defects of low solder adhesion are considered those produced by insufficient (partial) wetting SJ parts. The average load sustained by such SJs made 70-80 N. For comparison, the average breaking load for SJs with cold joint defect made 44 N, and 116 N – for no defect SJs.

As foreseen, the AE character differed for different defects. AE data analysis resulted in total count N (impulses, imp) and maximal activity A_{max} (impulses per second, imps) parameters measured for different types of SJs during their tensile tests. For cold joint defects N = 70 imp and A_{max} = 210 imps; for low solder adhesion N = 22 imp and A_{max} = 40 imps; for no defect SJs N = 34 imp and A_{max} = 51 imps. Fig. 4 demonstrates acoustic emission diagrams produced by the load progression applied during tensile tests for three groups of SJs with mentioned types of defects. The diagrams show AE in the load range from 0 to 44 N what corresponds to average ultimate load for the cold joints and makes 40 % of ultimate load for no defect joints.

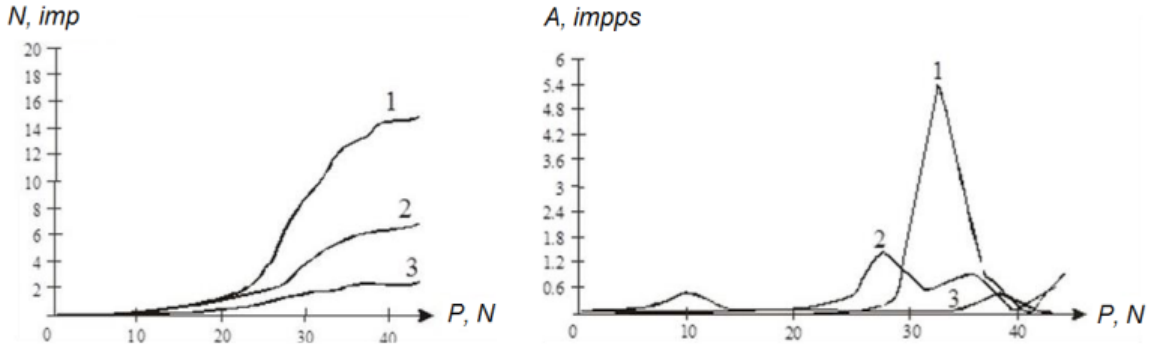


Fig. 4. Acoustic emission – load diagrams during tensile tests of three types of solder joints: 1 – cold joints; 2 – low solder adhesion joints; 3 – solder joints without defects

Statistical analysis of experimental data testified of decreasing ultimate load levels for defective SJs with 95 % confidence probability: cold joint defect lowers SJ strength by 62 % in average; low solder adhesion defect lowers SJ strength by 35 % in average. At the same time analysis of acoustic emission detected along the tests shows sensitivity and applicability of this method to detect defects in SJs and even assess their strength. Besides, it holds potential for nondestructive diagnostics of solder joints long before the final destruction.

Pure bending technique for printed circuit boards flexure test

Conducting tensile tests with simultaneous recording acoustic emission showed perspectives for

nondestructive strength diagnostics of electronic components solder joints installed on PCB, although practical application of the method was limited by monitoring only the single component joints at the time. In order to overcome this limitation and conduct tests for entire PCB with all electronic components installed the pure bending technique was applied (fig. 5) [6]. The pure bending was designed to provide equal testing stress over the PCB area as applied in between two supports. Thus all SJs installed within the tested area can be monitored simultaneously.

PCBs populated with electronic components were now the research objectives. SJ strength assessment considers solder mechanical characteristics, which are specified with consideration of design and technology of the joint. The strength of low-melting solders in cast phase is less than that of SJ. The lowest level of ultimate strength for solder POS40 in the cast phase is σ_u = 40 MPa [7].

The ultimate strength for fiberglass substrate is σ_u = 45–100 MPa.

Assuming ultimate strength of the solder as the reference value the test stress is calculated by the formula:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_u}{n} = \frac{40}{2.5} = 16\ MPa\,, \tag{1}$$

where σ_u – ultimate strength, n = 2.5 – safety factor.

The possible inaccuracy entailed by no account for design and technology of the joint will deposit into the safety factor. Obtained safety factor is sufficient to provide safe testing stress σ_{test} within proportionality strain area of solder material, so that solder is subjected to only elastic deformations, which do not reduce its strength.

Then the load P applied to PCB is specified for the nondestructive tests. Load application scheme for PCB test is shown in fig. 5.

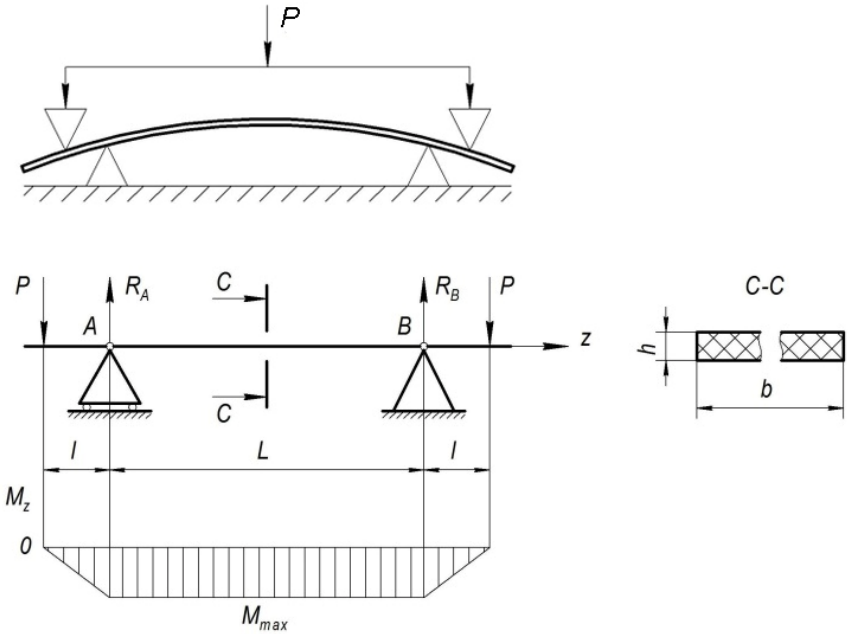


Fig. 5. Pure bending load application and diagram of internal bending moments in PCB

Maximal stress [7] is produced in dangerous part of PCB cross section – in peripheral layer, where bending moments are maximal $M = M_{max}$. In pure bending area with length L which is created by and lays in between two supports A and B, maximal stress is found by formula:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{I_{ax}} y_{\max}\,, \tag{2}$$

where M_{max} – maximal bending moment produced by load P; I_{ax} – axial moment of inertia; y_{max} – maximal distance from the neutral line of the cross-section to the peripheral layer (fibers); $y_{max} = h/2$, where h – thickness of PCB substrate.

Since ratio I_{ax}/y_{max} represents axial moment of resistance W_{ax}, formula (2) will be shortened to:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_{ax}}\,. \tag{3}$$

As required by strength condition of normal stress under bending load – maximal stress produced by the applied load should comply with acceptable standard $[\sigma]$:

$$\sigma_{max} \le [\sigma]. \tag{4}$$

Performing nondestructive tests to PCBs requires maximal acceptable load estimation.

Using formulas (3) and (4) for which in accordance to load application scheme (fig. 6) maximal bending moment equals:

$$M_{max} = P \cdot l, \tag{5}$$

and axial moment of resistance of rectangular section [6] is expressed as:

$$W_{ax} = \frac{b \cdot h^2}{6}, \tag{6}$$

maximal acceptable load for nondestructive bending tests of PCBs should comply with condition:

$$[P] = \frac{b \cdot h^2}{6 \cdot i}[\sigma]. \tag{7}$$

Pure bending flexure strength tests of printed circuit boards solder joints

Pure bending tests conducted by tensile machine IP-5057-50 indicated that the activity of acoustic emission responds to the speed, at which load is applied. Since AE data analysis requires its essential amount the decision was made to conduct tests at maximal acceptable loading speed of 100 millimetres per minute. The load was applied under acceptable limit calculated by the formula (3) P_{test} = 36 N.

However single load had not produced a considerable activity of AE signals yet and the testing was considered to conduct in multiple load and unload cycles. Each PCB was tested in 5 cycles. Minimal and maximal stresses in cycles were σ_{min} = 0 MPa and σ_{max} = 16 MPa correspondently. Acoustic emission was recorded during all the tests by piezoelectric gauges and via pre-amplifiers at frequency band of 0.02-0.2 MHz. The gauges were attached to PCB surface through the layer of acoustic paste.

The tests were conducted for 60 double sided fiberglass foil laminated PCBs (320×120×1.5×0.1 mm size). For the experiment PCBs were prepared and sorted into three equal groups by defects embedded into their solder joints: 1) PCBs with no defects; 2) PCBs with cold joint defects; 3) PCBs with low solder adhesion defects. Each PCB was populated with one component – resistor MLT-2. In group 1 resistors were installed in compliance with technological standard [8, 9]. In group 2 one of the resistors' leads was mounted to PCB as a cold joint, in particular as "circle crack" joint which is likely for soldering technology. In the group 3 low solder adhesion defects were embedded into solder joints for what resistors' leads had not been wetted before soldering.

During the tests the following AE parameters [5] were recorded: amplitude; activity; total count. The test results indicated that PCBs with no defect solder joints do not radiate acoustic emission during all cycles. The total count of SJs with low solder adhesion defects made 10-15 imp with amplitude 1 mV. Normally such signals are radiated at load progression and in the moments of maximal load. Signals radiated by cold joint defects are characterized by considerably higher total count (30-40 imp) with amplitude up to 3 mV. The specificity of cold joints is that AE appears on load discharging phase of cycles, what can be explained by cracks converging their edges. Figures 7, 8 demonstrate acoustic emission – cycling load diagrams recorded during pure bending tests of PCBs with embedded solder joint defects.

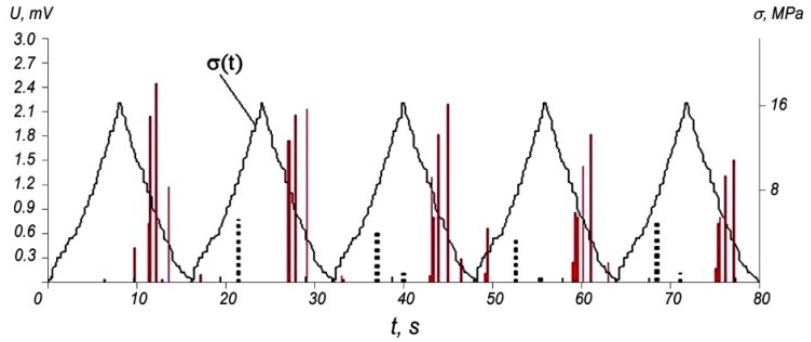


Fig. 6. Acoustic emission amplitude – cycling load diagram: solid line – low solder adhesion; dash line – cold joint

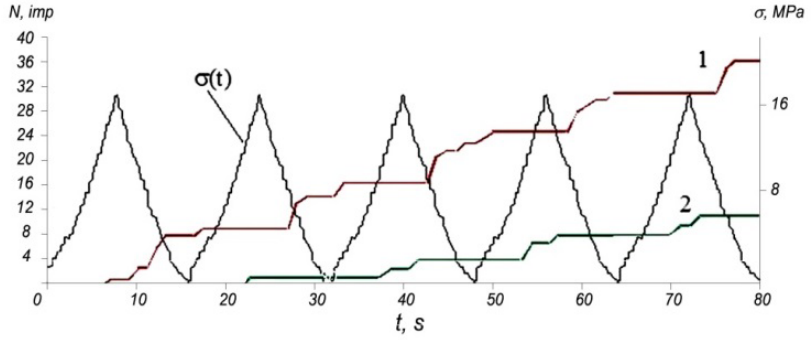


Fig. 7. Acoustic emission total count – cycling load diagram: 1 – cold joint; 2 – low solder adhesion

AE data analysis indicated total count as the most informative parameter to correlate with various types of solder joint defects. Conducted experiments give the reason to use identified character of acoustic emission to develop methods for strength diagnostics of solder joints on printed circuit boards [10].

Nondestructive method for solder joint strength diagnostics with acoustic emission application

1. Printed circuit boards are tested by pure bending load under acceptable limit specified by the safety factor for solder material n = 2.5.

2. In case acoustic emission is detected, test is repeated in 5 load/unload cycles. Acoustic emission progression during cycle test indicates of solder joint defect and such PCB is rejected and classified as joint with growing defect.

3. When required defect location is performed in order to repair it.

The developed method has been tested out on the batch of industrial printed circuit boards. The tests were conducted for 32 single sided fiberglass foil laminated PCBs (120×140 mm size).

During tests acoustic emission was detected for three PCBs what indicated progressing defects.

Analysis of AE character identified type of the detected defects – low solder adhesion, which was then proved by detailed optical 10x zoom revision of rejected PCBs in places where AE was located. Defects were also tested by passing electric current through the defected solder joints and measuring their electric resistance. Since PCBs had been used for a long time before the tests and identified defects had remained hidden so they can have developed during their further operation and would have caused a failure of the whole electronic unit.

Conclusion

Strength diagnostics conducted for solder joints performed by through-hole technology on printed circuit boards by using methods of mechanical tensile and pure bending tests with simultaneous monitoring both mechanical characteristics and acoustic emission parameters allowed to find the relationship between parameters of acoustic emission and such defects of solder joints as “cold joint” and “low solder adhesion”.

The pure bending technique has been developed to perform flexure tests on printed circuit boards, which provides equal testing stress condition over the printed circuit board and allows to estimate maximal acceptable load for nondestructive tests.

Nondestructive method for strength diagnostics of solder joints on printed circuit boards that uses pure bending cycling tests with application of acoustic emission method has been designed.

References

1. Kovtun, J. Boiko, S. Petrashchuk, G. Baurienė, K. Pilkauskas Effects of the strain transmission from the main board to the installed electronic components. ISSN 1392-1207. MECHANIKA. 2016 Volume 22(6): pp. 489–494.

2. State Industrial Standard GOST 53251-2014. Printed Circuit Boards. Classification of Defects. 2014.

3. State Industrial Standard GOST 18353–79. Nondestructive tests. Types classification. – 1980.

4. State Industrial Standard GOST 18353–79. Nondestructive control. Classification of types and methods. – 1980.

5. Rao, A. K. Acoustic emission and signal analysis. Defence Science Journal, Vol. 40, Jan. 1990, pp. 55–70.

6. Kovtun, J. Boiko, S. Petrashchuk. “ Nondestructive strength diagnostics of solder joints on printed circuit boards,” *in Proc.* UkrMiCo, 2017, pp. 1-4. DOI: 10.1109/UkrMiCo.2017.8095401.

7. Pisarenko G. S., Kvitka O. L., Umanski E. S. Strength of materials. – 2nd edition. – K., 2004, 655 p.

8. OST4 GO.054.089. Electronic units and blocks. Soldering contact joints. Sample technological processes. – 1982.

9. J. Boiko, I. Kovtun, S. Petrashchuk. “Vibration transmission in electronic packages having structurally complex design,” *in Proc.* UKRCON, 2017, pp. 514-517. DOI: 10.1109/UKRCON.2017.8100294.

10. Boiko J.M., Royzman V.P., Kovtun I.I., Petrashchuk S.A. “Non-destructive strength and hermetic seal diagnostics and prediction of super-high-frequency electronic modules,” *in Proc*. Coordination problems of military technical and devensive industrial policy in Ukraine. Weapons and military equipment development perspectives. V International Scientific and Practical Conference, Kyiv, 2017, pp. 93–94.

Рецензія/Peer review : 02.11.2017 р. Надрукована/Printed :29.01.2018 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

UDC 004.056.53

L.M. KUPERSHTEIN, O.P. VOYTOVYCH, V.A. KAPLUN, S.O. PROKOPCHUK
Vinnytsia National Technical University

THE DATABASE-ORIENTED APPROACH TO FILES PROTECTION IN ANDROID OPERATION SYSTEM

This article is dedicated to methods and means protection of information security threats which are specific for mobile systems. In the article main ways of information security violations in mobile devices with Android operation system (OS) are considered. There are also samples of existing methods and means of information securing from confidentiality and integrity violation threats. The complex approach on securing data files of the Android OS devices is proposed. This approach is oriented on database usage. Such approach allows you to save encrypted files in the database to save them from the confidentiality violations. It also provides you with the integrity safety by saving the hash-number of the file in the database. The protection system architecture from unauthorized file access of the Android OS was developed. The system consists of three main modules for applying data protection: hashing module and encryption module, each of them interacts with the database module. The hash module generates a hash value of the selected files and stores them in a database. Hash values need to further protect when remove the file to check whether the content has not been changed. Encryption module is intended to encrypt the content of files. Password for encryption key generation is stored in the database. After saving the encryption key, the bit array of file is also being stored in the database, and file is being deleted from the permanent memory of mobile device. During the decoding, password is being entered again, and if it equals to the password, which is saved in database, then file decrypts. Using the hash value, file integrity check is being performed and file is being recovered it in the same folder, which it has been removed from. The scheme of database securing based on the TOTP-service. The proposed approach will provide the stable protection of the data on the mobile devices with Android OS.

Keywords: database, data protection, information security threat, mobile device, Android OS.

Л.М. КУПЕРШТЕЙН, О.П. ВОЙТОВИЧ, В.А. КАПЛУН, С.О. ПРОКОПЧУК
Вінницький національний технічний університет

ПІДХІД ДО ЗАХИСТУ ФАЙЛІВ НА ОСНОВІ БАЗ ДАНИХ В ОПЕРАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ANDROID

Проаналізовано можливі загрози для файлів даних на мобільних пристроях під керуванням операційної системи Android. Проаналізовано методи та алгоритми шифрування та хешування даних для застосування їх щодо захисту даних в операційній системі Android. Розроблено програмне забезпечення для мобільних пристроїв під керуванням ОС Android, яке включає набір методів захисту даних, а саме хешування, шифрування та захист бази даних.

Ключові слова: база даних, захист даних, загроза інформаційній безпеці, мобільний пристрій, операційна система Android.

Introduction. The popularity of mobile operating systems is growing rapidly, as well as the number of devices which are using these operating systems. Today, smartphones and tablets perform a large number of tasks both in everyday life and in business. This is the implementation of money transactions, communication via VoIP telephony, geolocation determination, presentations viewing, creation and editing of various documents, photo and video shooting and many other tasks. However, with the increasing demand for mobile devices, the number of intruders who wants to access confidential information also increases. Therefore, the question of protecting communication devices based on mobile operating systems is currently very acute.

You need to be cautious when storing the information, because it can be stolen or altered by intruders. That is why the development and use of an effective system that will ensure reliable protection of information from threats of confidentiality and integrity is relevant.

Android OS security system. Android is the mobile operating system, which was ranked first in global sales in 2016 [1]. The usage of operating systems (OS) in percentage representation is shown in Fig. 1.

Android OS security system was being improved with each version. Almost every system update includes Security Patch, which eliminates certain vulnerabilities of the system. However, the security system underwent significant changes when the Android 6 Marshmallow OS [2] was released. In this version, the approach to granting of rights to applications has been changed. So, when installing the program from the application store, it became unnecessary to provide all the access rights that the application needs for the work, as it was before. Granting the application all permissions, the user very often did not understand what they are for.

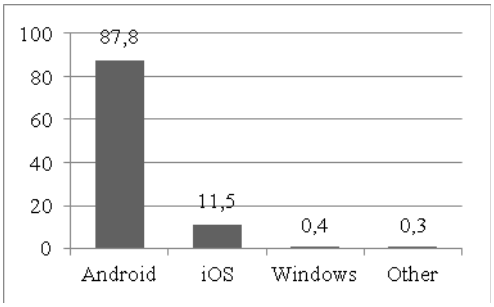


Fig. 1. Diagram of the OS usage on smartphones

As a result, some applications performed the functions of malicious software (malware), and the owner of the smartphone did not even know about it. Therefore, in the new version of the system, the user is authorized to grant epy rights to certain function when he wants to use a certain functionality of the program. This approach is called Runtime Permissions and it has clearly increased the security of the system. Now the user can prohibit the use of permissions, if he does not understand what they are for, and the developer must explain why the application needs certain permissions. In Fig. 2 the diagram of the different versions of the Android OS usage is shown.

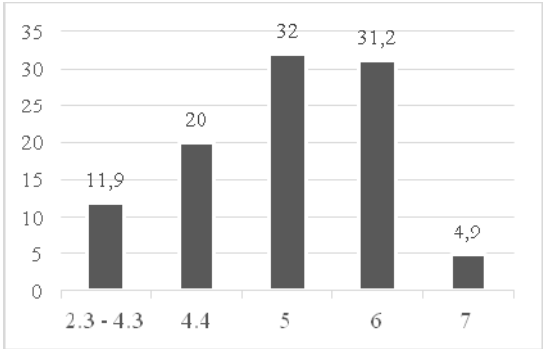


Fig. 2. Android OS versions usage

Fig. 2 is shown that now users are using not the latest versions of the OS. It means that a large part of them can easily be exposed to negative effects [3].

Attackers are creating a lot of malware to bypass the protection of mobile operating systems. We can conventionally distinguish the following classes of malicious software:

- SMS-Trojans (Android.SmsSend family). The purpose of these programs is to send SMS messages to paid numbers [4].
- Trojan programs of various functionalities working in superuser mode, which can perform any malicious actions, namely the removal and modification of data, the theft of confidential information, the performance of spam mailing, conducting network attacks as a bot and the like.
- Commercial spyware, which is used to monitor users. So, depending on the class and cost, you can meet them with the following functionality: interception of incoming and outgoing messages and calls, audio recording of the environment, tracking coordinates or collecting statistics data, including other programs data.
- Advertising modules, which developers use to monetize applications. In general, they do not pose a threat, the user moves on an advertise and developer receives money [5].

The most dangerous malware in our opinion is Trojan programs, as they can violate the integrity, confidentiality and availability of data on the mobile device [6].

The threats for data of mobile devices with Android OS appeared along with the appearance of the first mobile devices. Therefore, starting with the first versions of the OS, the development of software to protect against threats began.

The software for data protection in Android OS, which is currently available on the market, mainly provides such protection: data encryption, data hashing, setting passwords for the software of the mobile device, the usage of encrypted containers. Some software is protecting data only with the passwords, some only encrypts it. Also, there is software that creates encrypted storages, but they are being protected only with a password or are not being protected at all [7]. On the market there is a significant number of software data protection tools, among which can be distinguished such tools as: Andrognito, AppLock, KeepSafe, Vault, LUKS Manager, EDS Lite. The software provides the ability to encrypt and hash data, protect them with a password, hide data, create encrypted disks [8]. Software tools such as AppLock, KeepSafe and Vault are almost identical in functionality, they all protect software and data by setting a password. The best of these applications is the Vault, which, in addition to password protection, has a "false password" function for entangling an attacker and has a ‘hiding in the network’ function. But hiding the network opens up data for new threats.

Programs such as LUKS Manager and EDS Lite are hiding data in encrypted containers or disks. Both programs are using the AES algorithm for encryption [9]. EDS Lite has several advantages over LUKS Manager. Firstly, it is support for volumes created by the TrueCrypt utility. Considering the fact that TrueCrypt works on all major desktop platforms, this advantage becomes very significant. Secondly, this program doesn’t need Root access to work.

Protection system architecture. To protect files in the Android operating system the approach is offered, which consists of comprehensive protection, which includes file content encryption, file hashing, saving files in a secure database (DB). This approach will provide reliable protection of data files on a mobile device from the threats of integrity, availability and confidentiality. Data protection system architecture in the Android operating system is shown in Fig. 3.

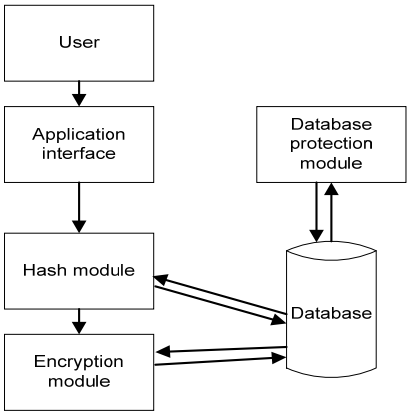


Fig. 3. Protection system architecture

The system consists of tree modules for applying data protection: hashing module, encryption module, each of them interacts with the database nodule. The hash module generates a hash value of the selected files and stores them in a database. Hash values need to further protect when remove the file to check whether the content has not been changed. Encryption module is intended to encrypt the content of files. Password for encryption key generation is stored in the database. After saving the encryption key, the bit array of file is also being stored in the base, and file is being deleted from the permanent memory of mobile device. During the decoding, password is being entered again, and if it equals to the password, which is saved in database, then file decrypts. Using the hash value, file integrity check is being performed and file is being recovered it in the same folder, which it has been removed from. Databases in Android OS are hidden from users without root access. If the mobile device has root permissions, you can view the DB using a special software. Therefore, to protect the database after recording data, database is being encrypted.

Hash-module. Hashing is a conversion of input data array of arbitrary length into the output bit string of fixed length. Such transformations are also called the function of hashing or hash-function [10].

Hashing is used in the following cases:

- the construction of associative arrays;
- searching for duplicates in data set series;
- construction of unique identifiers for data sets;
- calculation of data (signal) checksum to further error identifying in them (which happened accidentally or intentionally introduced) which are happening during the saving and/or transmission of data;
- while saving the passwords in protection systems in hash-code form (password recovery by the hash-code requires a function that is reversed in relation to the used hash-function);
- electronic signature development (in practice, a “hash-image” of the message, not the message itself is often being signed).

The best-known hashing algorithms are the following [10, 11]: JH, HAVAL, Keccak, MD5, SHA-3.

The data, which is stored in the permanent memory of the mobile device, can not only be stolen, but can be also modified. In order to know about the change of file content by extraneous persons, hash-values of files can be generated. SHA3 is the most reliable algorithm. It can be used to create hash-functions with arbitrary length of output, stream cypher, key generation function from password, authentication codes of messages, crypto-persistent generator of pseudo-random numbers with entropy pumping from an external source and with internal state deleting [12].

Following actions in the hash module are performed:

- the file is being chosen;
- file content gets converted into a bit array;
- hash value based on the bit file array is generated;
- hash-value is converted from decimal to hexadecimal;
- obtained hexadecimal hash-value is saved to the database table.

The hash value is being generated to generate it again when protection is removed from the file, and compare it with the one stored in the database, to know whether changes were made to the contents of the file.

Feedback process requires the following actions:

- from the list of protected files in the database, the one which is necessary to remove protection from is chosen;
- file content is transformed into a bit array;
- based on a bit array, the hash-value is generated;
- hash-value is converted from decimal to hexadecimal;
- obtained hexadecimal hash-value is compared with the saved in the database one.

Thus, the module allows a mobile user to check the data integrity.

Crypto-module. To construct the encryption module, usage of symmetrical encryption is offered, because asymmetrical encryption is designed to encrypt data, which is transmitted between users. On mobile device a very

large number of files will not be encrypted, so the worry for the safety of a large amount of keys is not necessary.

The most famous and reliable symmetric encryption algorithms are AES and DES. DES algorithm uses a key with 56-bit length for encryption. AES uses a keys with length of 128/192/256/512-bit [13]. AES algorithm is fastest and it uses some of the most persistent keys. Therefore, AES is chosen to implement encryption module.

Encryption process in crypto-module consists of the following steps:

- file for encryption is chosen;
- password with length of 8 to 32 characters is entered;
- encryption key, based on the entered password is generated;
- converting the generated key in a secret key;
- file content is transformed into a bit array;
- bit array is encrypted using the secret key;
- key and the encrypted bit array are being saved in the database;
- file is being deleted from the permanent memory of the mobile device.

Thus, the encrypted file cannot be found using standard file manager.

Decryption process in crypto-module consists of the following steps:

- file that needs to be decrypted is chosen from the list of protected files;
- password for encryption is entered;
- entered password is compared with one which is stored in the database. If the passwords are not equal, the process is stopped, if they are the same, then the transition to the next step will be performed;
- encryption key, based on the entered password is generated;
- converting the generated key in a secret key;
- decrypting the massive using the secret key;
- writing the decrypted massive to new file and saving it in the folder which it was deleted from.

DB-module. It is necessary to use the database for effective functioning of the data protection system. It is necessary because we must hide encrypted files in a byte array, hash values of the files and the encryption password in it. Result of file encryption is being saved into the database and the file is being deleted from the place where he was located in memory. This will protect your data files from mobile threats such as stealing and modification of information, denial of access to the database, removing of information [14].

AES encryption algorithm is used to protect the database [15]. Encryption key is generated by the BKDF2 (Password-Based Key Derivation Function) algorithm, which is the standard for key-based password formation [16].

Database protection scheme shown in Fig. 4. TOTP-service interacts with the main components of the program. TOTP (Time-based One Time Password Algorithm) is sufficiently resistant to cryptographic attacks one-step authentication algorithm that is used to generate one-time time-based passwords [17]. Wherein there is not sustainable value, but certain period of time is being used, which is difficult to find out if there is no source codes of the program.

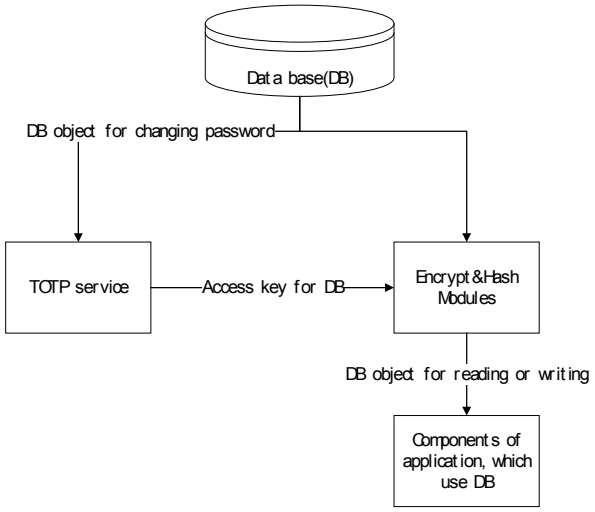


Fig. 4. Scheme of database protection

TOTP-service is connecting to the necessary components using binding mechanism [18]. This approach enables communication with service simultaneously, which in our case is very critical and important. After all, if you use asynchronous request, it may cause the conflict situation. For instance, service changes password to the database, along with the password change, database access password will be sent asynchronously.

A service that is always running in the background was implemented in database module. This service will generate a time-based access password for the database. When the program runs, sometimes password will change and application continues its work with newest access key. As a result, the database password will be changed and it will be very difficult for attacker to gain access to the database.

Implementation of the system. Using the Android studio was developed an application based on the

architecture of protection system. Android Studio is an integrated development environment (IDE) for Android. Android Studio replaces the ADT plugin for Eclipse platform. The environment was built on the source codes of IntelliJ IDEA Community Edition product [19]. In addition, the modern technology of reactive programming RxJava, which significantly increased the performance of the system and its flexibility, was used. Android Clean Architecture was used as the basic system architecture. This approach has improved the quality of code and provided the quick updates. The application uses three main classes: DBHelper, Secur and Unsecur. DBHelper is designed to work with the database records, for reading and clearing. In Secur class Secur all methods designed to protect files are placed, and Unsecur class stores the methods for protection removing. SQLCipher library used for database encryption. This library encrypts the database file and provides access to it only when you enter the correct key.

Summary. The market of mobile technologies was analyzed. The main types of malicious software for Android were defined. Application architecture and complex application, which improves the data protection, was developed. It consists of encryption module, hashing module and database module for data security improving in Android OS. This approach can significantly reduce the chance of threats of violations such as availability, integrity and confidentiality of a data.

References

1. “iPhone lost market share to Android in every major market” (25/11/2017) http://uk.businessinsider.com/apple-ios-v-android-market-share-2016-1.

2. “Malware alert! Android virus steals personal data including passwords” (25/11/2017) http://blogs.quickheal.com/malware-alert-android-virus-steals-personal-data-including-passwords.

3. “Vulnerability Statistics” (25/11/2017) http://www.cvedetails.com/product/19997/GoogleAndroid.html?vendor_id=1224.

4. “Anatomy of an Android sms virus” (25/11/2017) https://nakedsecurity.sophos.com/2014/06/29/anatomy-of-an-android-sms-virus-watch-out-for-text-messages-even-from-your-friends.

5. “Android ADB 8.0” (25/11/2017) Available: https://wincmd.ru/plugring/android _adb.html.

6. Voitovych O.P., Hurskyi M.V., Snigovyy D.S., Kupershtein L.M. Monitoring tool for Android operating system. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnitsky. − 2017. − Vol. 249, Iss 3. pp. 236-242.

7. “Top 5 Android security” (25/11/2017) http://www.digitaltrends.com/ mobile /top-android-security-apps.

8. “10 best security app for Android” (25/11/2017) http://www.androi dauthority.com/best-security-apps-android-687799.

9. Bellarel M. Introduction to Modern Cryptography / M. Bellarel, P. Rogaway. – California, 2005 (25/11/2017) https://www.nist.gov/news-events/news/2015/08/nist-releases-sha-3-cryptographic-hash-standard.

10. Konheim A. G. Heshing in computer science / A.G. Konheim. -New Jersey: Willey, 2010. – 406 p.

11. NIST. Plan for new cryptographic hash functions (25/11/2017) http://www.nist.gov/hash-function

12. “SHA-3” (25/11/2017) https://www.nist.gov/news-events/news/2015/08/nist-releases-sha-3-cryptographic-hash-standard.

13. Mahajan P. A study of encryption algorithms AES, DES and RSA for security / P. Mahajan, A. Sachdeva // Global journal of computer science and technology network, web & security. − 2013. – Vol. 13, Iss. 15 (25/11/2017) https://pdfs.semanticscholar.org/2878/4ff450d810ea2340bc0b059b74a2b601131b.pdf

14. Voitovych O. Investigation of simple Denial-of-Service attacks / O. Voitovych, Y. Baryshev, E. Kolibabchuk and L. Kupershtein // 2016 Third International Scientific-Practical Conference “Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T)”, Kharkiv, Ukraine, 2016, pp. 145-148.

15. Voitovych O. P. SQL injection prevention system / O.P.Voitovych, O.S.Yuvkovetskyi, L.M.Kupershtein // 2016 International Conference “Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo)”, Kiev, 2016, pp. 1-4.

16. “SQLCipher: Encrypted Database” (25/11/2017) https://guardianproject.info/code/sqlcipher.

17. Password-Based Cryptograpy Standard. – Camridge: RSA Laboratories, 2012. – 33 p. (25/11/2017) https://ru.scribd.com/document/268097645/PKCS-05-v2-1-Password-Based-Cryptography-Standard.

18. “TOTP: Time-Based One-Time Password Algorithm” (25/11/2017) https://tools.ietf.org/html rfc6238 .

19. “Android Studio” (25/11/2017) https://developer.android.com/studio/index.html.

Рецензія/Peer review : 9.05.2017 р. Надрукована/Printed :27.01.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Мартинюк Т.Б.

УДК 004.67

О.С. САВЕНКО
Хмельницький національний університет

КРИТЕРІЇ КЛАСИФІКАЦІЇ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

В роботі проведено аналіз існуючих класифікацій методів виявлення шкідливого програмного забезпечення. Виокремлено критерії класифікації, зокрема характер отриманих даних, ознаки, що виступають об'єктом пошуку та дослідження, методи аналізу, алгоритми прийняття рішення, очікуваний результат та оцінка класифікації. На основі запропонованих критеріїв класифікації проведено класифікацію методів виявлення шкідливого програмного забезпечення.

Ключові слова: критерії класифікації, шкідливе програмне забезпечення, ознаки, поведінка.

O.S. SAVENKO
Khmelnytskyi National University

THE CLASSIFICATION CRITERIA FOR METHODS OF DETECTION MALICIOUS SOFTWARE

With the advent of a new malware, known antivirus products do not always confirm the declared level of authenticity of detection, because they are based on signature analysis. In contrast, to date, there are a large number of non-commercial tools based on new methods and approaches to detecting malware that are distinguished by the features used to identify SPS, the way data is received, and the methods of analysis. Therefore, in order to increase the efficiency and reliability of the detection of a new malware, the expedient task is to determine their characteristics that can be used in developing new detection methods, as well as the selection of criteria for classification of malware detection methods. An analysis of the existing classifications for methods of detecting malicious software is carried out. The classification criteria, in particular the character of the data received, the features serving as the object of search and research, the methods of analysis, decision-making algorithms, expected results of checking and assessment of classification, are singled out. On the basis of the proposed classification criteria, a classification for methods of detecting malicious software was conducted.

Keywords: classification criteria, malicious software, features, behaviour.

Вступ. Постановка задачі. На сьогоднішній день з стрімким поширенням комп'ютерних систем та інформаційних технологій, а також їхньої інтеграції у глобальну мережу Internet, шкідливе програмне забезпечення (malware) є одним із основних видів кіберзлочинності. Збитки, заподіяні шкідливим програмним забезпеченням (ШПЗ) при інфікуванні комп'ютерної системи чи мережі, можуть бути від незначного збільшення вихідного трафіку (якщо комп'ютер заражений троянською програмою, що надсилає спам) до повного порушення працездатності мережі або втрати критично важливих даних. Масштаб пошкоджень залежить від цілей вірусу, і іноді результати його діяльності непомітні для користувачів компрометованої комп'ютерної системи (КС) чи мережі. Так, наприклад, згідно із звітом компанії Cybersecurity ventures збитки, що завданні вірусами-вимагачами, зокрема вірусом WannaCry, у 2017 році склали близько 15 мільярдів доларів, що у 15 разів вище ніж у 2015 році [1].

З появою нового ШПЗ відомі антивірусні засоби не завжди підтверджують задекларований рівень достовірності виявлення, оскільки в їх основі лежить сигнатурний аналіз. На противагу їм на сьогоднішній день існує значна кількість некомерційних засобів, заснованих на нових методах та підходах до виявлення ШПЗ, що відрізняються ознаками, які використовуються для ідентифікації ШПЗ, способу отримання даних, методами аналізу.

Тому, з метою підвищення ефективності та достовірності виявлення нового ШПЗ, доцільним завданням є визначення їх характеристик, що можуть бути використанні при розробці нових методів виявлення, а також виокремлення критеріїв класифікації методів ШПЗ.

Основна частина. На сьогоднішній день існують різні підходи до класифікації методів виявлення ШПЗ. Загалом, всі методи виявлення ШПЗ можна розділити на два класи: методи виявлення відомого та нового ШПЗ [2]. Більш детальна класифікація запропоновано у роботі [3]. Класифікація була представлена з урахуванням наступних параметрів: дані, що отримані про досліджуване ПЗ, способи отримання цих даних, математичні методи, що застосовуються для аналізу даних та ознаки підозрілості, що характеризують ПЗ. Однак, запропонована класифікація не враховує очікуваний результат, що отримується в процесі виконання аналізу ШПЗ.

Інший однокритеріальний підхід до класифікації методів виявлення ШПЗ і систем виявлення вторгнень заснований на виборі методу машинного навчання: нейронні мережі, метод опорних векторів, байєсівські мережі, нечітка логіка, дерева прийняття рішень, тощо [4]. Проте, використання однокритеріального аналізу для проведення класифікації ШПЗ є неприйнятним, оскільки не враховується, які саме дані будуть використані в якості навчальної та тестової вибірки та яким чином було отримано ці дані.

З метою усунення недоліків відомих класифікації розроблено класифікацію методів виявлення ШПЗ, в основу якої закладено шість критерії: характер отриманих даних, ознаки, що виступають об'єктом пошуку та дослідження, методи аналізу, алгоритм прийняття рішень, очікуваний результат та оцінка класифікації (табл. 1). Розглянемо детально кожен критерій класифікації.

Характер отриманих даних. За характером отримуваних даних всі методи виявлення ШПЗ можна розподілити на сигнатурні та евристичні. Сигнатурні методи використовують пошук частин коду, що були характерними для визначеного типу вірусу чи іншого ШПЗ. Ці ділянки коду називаються сигнатурами вірусної програми (string pattern) і зберігаються в антивірусній базі даних. Така послідовність байтів повинна вибиратися з якомога менш схожими з рядками коду в довірених додатках чи інших типів вірусів.

Таблиця 1

Критерії класифікації

№ п/п	Назва критерію	Ознаки критерію
1	Алгоритм прийняття рішення	Експертна система, дерева рішень (алгоритм C4.5), приховані марківські моделі, найбільша спільна послідовність, метод опорних векторів, міра подібності косинус
2	Очікуваний результат	Точні та наближені методи
3	Ознаки, що виступають об'єктом пошуку та дослідження	Структурна інформація про файл, мережний трафік, множина операційних кодів, послідовності API викликів, граф потоку управління
4	Характер отриманих даних	Сигнатурні та евристичні методи
5	Методи аналізу	Динамічні та статичні методи
6	Оцінка класифікації	Вірність класифікації, точність, повнота, F-міра, крива помилок, AUC

Методи, що використовують набори правил (евристик), активізація яких, слугує припущенням про інфікування КС вірусною програмою називаються евристичними методами виявлення. Головною перевагою використання евристичних методів є здатність виявляти нові види вірусних програм. Окрім того, евристичні методи можуть не використовувати бази даних вірусних програм, що представлена сигнатурами вірусів.

Наприклад вірусні програми, в якості складових евристичних правил використовують елементи, які виражають деякі структурні особливості, що не притаманні корисним додаткам, а саме: наявність розриву між розділами, розташування виконуваного коду в останній секції коду, підозрілі характеристики розділу, підозріле ім'я секції (стандартними вважаються імена секцій .data, .code, .reloc, .idata, .text та ін.), невірне значення віртуального розміру в заголовку PE, використання декількох заголовків PE, підозрілі значення таблиці імпорту з бібліотеки KERNEL32.DLL, підозріле направлення коду [5]. Стосовно бот-мереж, наприклад, то евристичними складовими можуть бути: повторні DNS-запити до певного вузла мережі, високий вихідний SMTP-трафік, декілька КС в мережі, що виконують однакові DNS-запити, підозрілі вихідні повідомлення тощо [6].

Ознаки, що виступають об'єктом пошуку та дослідження. Відомі методи виявлення для ідентифікації різного виду ШПЗ використовують набори структурних особливостей виконуваних файлів, мережевого трафіку, вміст оперативної пам'яті, значення ключів системного реєстру, тощо. Фактично даний критерій визначає особливості (або ознаки), які вибираються для формування сигнатури або евристичних правил.

Методи аналізу. Важливою характеристикою методів виявлення ШПЗ є спосіб отримання даних про досліджуваний об'єкт. Всі методи аналізу можна розділити на дві групи: статичні та динамічні. Статичні методи аналізу досліджують вихідний шкідливий код без його виконання на реальній чи віртуальній системі та включають в себе пошук та виокремлення поведінкових властивостей про виконуваний файл. Статичний аналіз передбачає використання наступних підходів: дослідження структури виконуваних файлів (наприклад інформацію про компіляцію виконуваного файлу, експортовані та імпортовані бібліотеки), вилучення рядків та повідомлень, що можуть ідентифікувати ШПЗ, дослідження відбитку ШПЗ (fingerprinting), що включає формування хешу, визначення ознак навколишнього виконання, рядків реєстру, тощо. Також, одним із найпоширеніших підходів статичного аналізу є дизасемблювання виконуваного файлу. Процес дизасемблювання передбачає виконання процедури реверс-інженерінгу та перетворення виконуваного файлу у низькорівневий набір інструкцій для пошуку закономірностей та зв'язків. Перевагами використання даного підходу є висока швидкість та низьке ресурсоспоживання (у порівнянні з динамічними методами аналізу). Проте, використання статичного аналізу не дозволяє в повній мірі здійснювати виявлення ШПЗ, що змінює власну структуру в процесі виконання.

На противагу статичним динамічні методи аналізу передбачають виконання досліджуваного виконуваного файлу з метою отримання знань про поведінку ШПЗ. Зазвичай, при використанні динамічних методів аналізу залучають віртуальні машини, "пісочниці" або ресурси, що представляють собою приманку для ШПЗ (honeypot). В процесі дослідження виконуваного файлу можуть бути виявлені атрибути, що проявляються при виконанні зокрема, створення файлів, ключів реєстру, відкриття/закриття системних портів, створення мютексів та ін.

Алгоритм прийняття рішень. Після отримання даних або ознак про ШПЗ наступним етапом є обробка цих даних з використанням алгоритмів прийняття рішень. Взагалі алгоритми прийняття рішень можна розділити на дві категорії: методи засновані на експертних знаннях та методи машинного навчання.

Методи, що засновані на експертних знаннях використовуються для формалізації знань про ШПЗ та знань спеціалістів в області кібербезпеки. Система, що побудована на основі методів експертної оцінки, крім виконання обчислювальних операцій, формує висновки, що засновані на базі знань та продукційних правил. Знання можуть бути пов'язані наприклад, з тим, які дії є шкідливими (поведінковий аналіз), або які особливості структури свідчать про шкідливість виконуваного файл (структурний аналіз). Прикладами методів на основі експертної оцінки є метод продукційних правил, в основі яких закладено причинно-наслідкові зв'язки у вигляді конструкцій "Якщо-То"; нейромережні методи, тобто методи в основу яких закладено продукційні правил та нечіткий логічний висновок, що дозволяє визначати комплексні ознаки, в той час як елементи штучних нейронних мереж дозволяють адаптувати правила під відоме ШПЗ. Методи на основі експертної оцінки характеризуються високою достовірністю виявлення відомих зразків ШПЗ, проте вони є не досить ефективними

для ШПЗ, що застосовує нові техніки протидії антивірусному програмному забезпеченню.

Основна ідея будь-якої задачі машинного навчання полягає в тому, щоб навчити модель на основі алгоритму машинного навчання, для виконання завдань класифікації, кластеризації, регресії тощо. Навчання, що проводиться на основі вхідного набору даних і моделі, що будується, згодом використовується для прогнозування. Вихід такої моделі залежить від початкового завдання та реалізації. Одними із найпоширеніших алгоритмів машинного навчання для виявлення ШПЗ є: метод опорних векторів, C3.5, наївний баєсів класифікатор, дерева прийняття рішень, метод найближчого сусіда тощо.

Очікуваний результат. Метою здійснення задачі виявлення або ідентифікації ШПЗ є встановлення факту шкідливості програмного забезпечення. За ознакою результату, що формується після виконання процесу дослідження ШПЗ на предмет шкідливості, всі методи виявлення можна розділити на точні та наближені. Методи, що передбачають формування точного висновку, оперують бінарною множиною – шкідливе або не шкідливе програмне забезпечення. Як правило, точні методи дозволяють здійснювати виявлення визначеного класу ШПЗ або програмного забезпечення, що використовує тільки деякі із технологій, що використовуються для маскування або зміни шкідливого коду.

Наближені методи виявлення ШПЗ при визначені факту шкідливості використовують терміни нечіткої логіки, тобто при формуванні висновку можуть бути задіяні терміни висока, середня, низька підозрілість (шкідливість).

Оцінка класифікації. При розробці нових методів та алгоритмів виявлення ШПЗ, в результаті яких здійснюється віднесення досліджуваного об’єкта до одного із класів шкідливих чи корисних програм слід проводити оцінку класифікації. Процес оцінки класифікації заснований на використанні тестової вибірки, що складається з множини пар “набір характеристик – клас, що відповідає цим характеристикам”. При наявності тестової вибірки, перевірка роботи розробленого методу, зводиться до встановлення зв'язку його рішення з відомим правильним рішенням. Для того, щоб оцінити класифікацію використовуються чисельні показники його якості, найпоширенішими з яких є:

- Вірність класифікації (Accuracy). Визначає співвідношення кількості вірних рішень до загальної кількості розглянутих об’єктів:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \tag{1}$$

де TP – кількість вірно виявлених зразків ШПЗ, FN – кількість хибно класифікованих зразків ШПЗ, TN – кількість вірно ідентифікованих корисних програм, FP – є кількість корисних програм неправильно класифікованих як ШПЗ.

- Точність (Precision). Точність системи в межах класу визначається як частка об’єктів, що дійсно належать даному класу по відношенню до всіх об’єктів, які система віднесла до цього класу:

$$precision = \frac{TP}{TP + FP} \tag{2}$$

- Повнота (Recall). Часка знайдених класифікатором об’єктів, що належать класу відносно всіх документів цього класу в тестовій вибірці:

$$recall = \frac{TP}{TP + FN} \tag{3}$$

- F-міра. Оцінка, що визначає зважене гармонічне точності та повноти системи:

$$F_1 = \frac{2\,precision \cdot recall}{precision + recall} \tag{4}$$

Крива помилок (ROC). Представлення результатів класифікації у вигляді залежності повноти та частки неправильно передбачених класів серед об'єктів негативного класу:

$$precision = TPR = \frac{TP}{TP + FN}, \qquad FPR = \frac{FP}{TN + FP} \tag{5}$$

- AUC. Кількісна інтерпретація кривої помилок, визначається як площа кривої, що обмежена ROC-кривою і віссю частки помилкових позитивних класифікацій.:

$$AUC = \int_0^1 TPR\, dFPR \tag{6}$$

Для здійснення дослідження методів виявлення ШПЗ, що представлене вірусними програмами, використаємо розроблену класифікацію (рис. 1). Розглянемо детальніше кожен з цих методів.

У роботі [7] запропоновано систему виявлення атак нульового дня, що працює в режимі реального часу та передбачає аналіз мережного трафіку. Запропонована система поєднує в собі використання трьох складових для виявлення ШПЗ: виявлення аномалій, сигнатурний та евристичний аналіз. Архітектура системи побудована з використанням трьох шарів, де кожен шар відповідає за одну складову та працює паралельно з усіма рештою. В якості алгоритму прийняття рішення застосовується метод опорних векторів.

Статичний підхід, що заснований на відстеженні API викликів представлено в роботі [8]. В якості наборів даних використовуються комбінація множин корисних додатків та ШПЗ. Кожен набір даних це API виклики, що отримуються з виконуваних файлів формату PE EXE з міткою класу, до якого вони належать. Для виконання класифікації застосовуються дерева прийняття рішень.

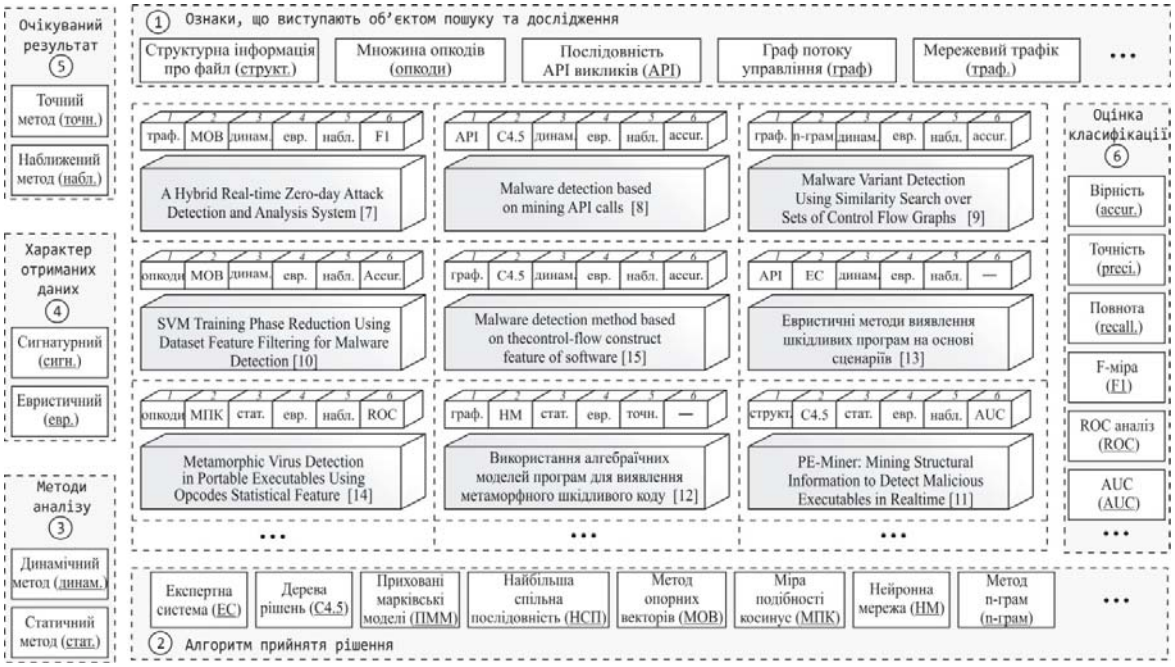


Рис. 1. Класифікація методів виявлення вірусних програм

Інший підхід для виявлення ШПЗ, зокрема поліморфних вірусів, полягає у представлені сигнатури вірусу у вигляді множини графів потоку керування (control flow graph) та пошуку подібності між ними [9]. Пошук схожості здійснюється на основі метрики відстані між векторами ознак, що представляються k-підграфами фіксованого розміру.

У роботі [10] автори здійснили аналіз щільності опкодів з використання методу опорних векторів. Для формування вектора ознак було використано віртуальне захищене середовище, в якому кожен тестовий зразок ШПЗ виконувався протягом трьох хвилин. З метою зменшення розмірності вектора ознак залучено метод головних компонент.

В [11] представлено метод, що базується на аналізі структури виконуваного файлу, зокрема секції заголовку представлено, для виявлення нового ШПЗ в режимі реального часу. В результаті дослідження було отримано 189 ознак для ідентифікації ШПЗ. Для здійснення класифікації було використано методи машинного навчання C3.5, наївний баєсів класифікатор та дерева прийняття рішень.

В роботі [12] представлено підхід для виявлення ШПЗ з метаморфним навантаженням на основі перевірки еквівалентності в алгебраїчних моделях послідовних програм та здійснюється оцінка стійкості деяких обфускуючих перетворень. Авторами теоретичним чином доводиться, що пошук еквівалентності для програм, які використовують техніки переключенням режиму і використанням зворотних операторів та їх комбінацій є мало ефективним та відносить задачу пошуку еквівалентності до класу NP повних задач.

Підхід, що заснований на побудові сценаріїв для виявлення ШПЗ представлено у роботі [13]. Запропоновані сценарії на основі API викликів, що здійснює програма, дозволяють представити поведінку шкідливих програм в ієрархічному вигляді Розроблено архітектуру евристика, що містить експертну систему на основі сценаріїв.

Представлені методи володіють рядом недоліків, які проявляються у високому рівні хибних спрацювань, спрощенням та наближенням тестових даних, орієнтацію на конкретні класи та технології, що використовує ШПЗ, що не дозволяє повністю вирішувати проблему виявлення нового ШПЗ, тощо. Тому, при розробці нових методів та підходів до виявлення ШПЗ доцільно враховувати недоліки відомих методів та використовувати комбіновані ознаки.

Висновок

В результаті виконання дослідження здійснено аналіз існуючих класифікацій методів виявлення шкідливого програмного забезпечення. З урахуванням недоліків відомих класифікації виокремлено критерії класифікації, зокрема характер отриманих даних, ознаки, що виступають об'єктом пошуку та дослідження, методи аналізу, алгоритми прийняття рішення, очікуваний результат та оцінка класифікації. На основі запропонованих критеріїв класифікації здійснено класифікацію методів виявлення шкідливого програмного забезпечення. Запропонована класифікація може бути використана при розробці нових методів та підходів для виявлення ШПЗ.

Література

1. Ransomware Damage Report. URL: https://cybersecurityventures.com/ ransomware-damage-report-2017-5-billion/. – Title from the screen.

2. Gandotra E. Malware Analysis and Classification: A Survey / E. Gandotra, D. Bansal, S. Sofat // Journal of Information Security. – 2014. – Vol. 5. – P. 56–64.

3. Подпружников Ю. Классификация методов обнаружения неизвестного вредоносного программного

обеспечения / Ю. Подпружников // Сборник трудов Современные тенденции технических наук. – 2011. – С. 22–25.

4. Singh J. A Survey on Machine Learning Techniques for Intrusion Detection Systems / J. Singh, M. J. Nene // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. – 2013. – Vol. 2, Issue 11. – P. 4349–4355.

5. Savenko O. Metamorphic Viruses' Detection Technique Based on the Equivalent Functional Block Search / O. Savenko, S. Lysenko, A. Nicheporuk, B. Savenko // CEUR-WS. – 2017. – Vol. 1844. – P. 555–569.

6. Pomorova O. A Technique for the Botnet Detection Based on DNS-Traffic Analysis / O. Pomorova, O. Savenko, S. Lysenko, A. Kryshchuk, K. Bobrovnikova // Computer Networks. – 2015. – Vol. 522. – P. 127–138.

7. Kelley R. A Hybrid Real-time Zero-day Attack Detectionand Analysis System / R. Kelley, M. Singh // International Journal Computer Network and Information Security. – 2015. – vol. 9. – P. 19–31.

8. Sami A. Malware detection based on mining API calls / A. Sami, B.Yadegari, H. Rahimi, N. Peiravian, S. Hashemi, A. Hamze // In Proc. of the 10th Symposium on Applied Computing. – 2010. – P. 1020–1025.

9. Cesare S. Malware Variant Detection Using Similarity Search over Sets of Control Flow Graphs / S. Cesare, Y. Xiang // In Proc. of the 10th IEEE International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications. – 2011. – P. 181–189.

10. O'Kane P. SVM Training Phase Reduction Using Dataset Feature Filtering for Malware Detection / P. O'Kane, S. Sezer, K. McLaughlin, E. G. Im // In Proc. of the 2013 IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – 2013. – P. 500–509.

11. Shafiq M.Z. PE-Miner: Mining Structural Information to Detect Malicious Executables in Realtime / M.Z. Shafiq, S.M. Tabish, F. Mirza, M. Farooq // International Workshop on Recent Advances in Intrusion Detection. – 2009. – P.121–141.

12. Подловченко Р.И. Использование алгебраических моделей программ для обнаружения метаморфного вредоносного кода / Р.И. Подловченко, Н.Н. Кузюрин, В.С. Щербина, В.А. Захаров // Фундаментальная и прикладная математика. – М., 2009. – № 5. – С. 181–198.

13. Рувинская В.М. Эвристические методы детектирования вредоносных программ на основе сценариев / В.М. Рувинская, Е.Л. Беркович, А.А. Лотоцкий // Штучний інтелект. – 2008. – № 3. – С. 197–207.

14. Пат. на корисну модель 108238 Україна, МПК G06F 21/55. Мультиагентний спосіб локалізації бот-мереж у корпоративних комп'ютерних мережах / Поморова О.В., Савенко О.С., Крищук А.Ф., Лисенко С.М., Бобровнікова К.Ю., Нічепорук А.О. ; власник Хмельницький національний університет. – № u201600127 ; заявл. 04.01.2016 ; опубл. 11.07.2016, Бюл. № 13/2016.

15. Пат. на корисну модель 118456 Україна, МПК G06F 21/55. Спосіб виявлення метаморфних вірусів на основі статистичних метрик для визначення еквівалентних функціональних програмних блоків / Савенко О.С., Лисенко С.М., Бобровнікова К.Ю., Нічепорук А.О., Савенко Б.О. ; власник Хмельницький національний університет. – № u201701743 ; заявл. 23.02.2017 ; опубл. 10.08.2017, Бюл. № 15/2017.

References

1. Ransomware Damage Report. URL: https://cybersecurityventures.com/ ransomware-damage-report-2017-5-billion/. – Title from the screen.

2. Gandotra E. Malware Analysis and Classification: A Survey / E. Gandotra, D. Bansal, S. Sofat // Journal of Information Security, Vol. 5, 2014. – PP. 56-64.

3. Podpruzhnykov Yu. Klassyfykatsyia metodov obnaruzhenyia neyzvestnoho vredonosnoho prohrammnoho obespechenyia / Yu. Podpruzhnykov // Sbornyk trudov Sovremennye tendentsyy tekhnycheskykh nauk. – 2011. – S.22-25.

4. Singh J. A Survey on Machine Learning Techniques for Intrusion Detection Systems / J. Singh, M. J. Nene // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, Vol. 2, Issue 11, 2013. – PP. 4349-4355.

5. Savenko O. Metamorphic Viruses' Detection Technique Based on the Equivalent Functional Block Search / O. Savenko, S. Lysenko, A.Nicheporuk, B. Savenko // CEUR-WS, Vol. 1844. – 2017. – PP. 555-569.

6. Pomorova O. A Technique for the Botnet Detection Based on DNS-Traffic Analysis / O. Pomorova, O. Savenko, S. Lysenko, A. Kryshchuk, K. Bobrovnikova // Computer Networks, Vol. 522. – 2015. – PP. 127-138.

7. Kelley R. A Hybrid Real-time Zero-day Attack Detectionand Analysis System / R. Kelley, M.Singh // International Journal Computer Network and Information Security, vol. 9, 2015. – PP. 19-31.

8. Sami A. Malware detection based on mining API calls / A. Sami, B.Yadegari, H. Rahimi, N. Peiravian, S. Hashemi, A. Hamze // In Proc. of the 10th Symposium on Applied Computing. – 2010. – PP. 1020-1025.

9. Cesare S. Malware Variant Detection Using Similarity Search over Sets of Control Flow Graphs / S. Cesare, Y. Xiang // In Proc. of the 10th IEEE International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications. – 2011. – PP. 181-189.

10. O'Kane P. SVM Training Phase Reduction Using Dataset Feature Filtering for Malware Detection / P. O'Kane, S. Sezer, K. McLaughlin, E. G. Im // In Proc. of the 2013 IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – 2013. – PP. 500-509.

11. Shafiq M.Z. PE-Miner: Mining Structural Information to Detect Malicious Executables in Realtime / M.Z. Shafiq, S.M. Tabish, F. Mirza, M. Farooq // International Workshop on Recent Advances in Intrusion Detection. – 2009. – PP.121-141.

12. Podlovchenko R.Y. Yspolzovanye alhebraycheskykh modelei prohramm dlia obnaruzhenyia metamorfnoho vredonosnoho koda / R.Y. Podlovchenko, N.N. Kuziuryn, V.S. Shcherbyna, V.A. Zakharov // Fundamentalnaia y prykladnaia matematyka. – M, 2009. – № 5. – S. 181-198.

13. Ruvynskaia V.M. Evrystycheskye metody detektyrovanyia vredonosnykh prohramm na osnove stsenaryev / V.M. Ruvynskaia, E.L. Berkovych, A.A. Lototskyi // Shtuchnyi intelekt. – 2008. – № 3. – S. 197-207.

14. Pat. na korysnu model 108238 Ukraina, MPK G06F 21/55 Multyahentnyi sposib lokalizatsii bot-merezh u korporatyvnykh kompiuternykh merezhakh / Pomorova O.V., Savenko O.S., Kryshchuk A.F., Lysenko S.M., Bobrovnikova K.Yu., Nicheporuk A.O.; vlasnyk Khmelnytskyi natsionalnyi universytet. – № u201600127; zaiavl. 04.01.2016; opubl. 11.07.2016, Biul. № 13/2016.

15. Pat. na korysnu model 118456 Ukraina, MPK G06F 21/55 Sposib vyiavlennia metamorfnykh virusiv na osnovi statystychnykh metryk dlia vyznachennia ekvivalentnykh funktsionalnykh prohramnykh blokiv / Savenko O.S., Lysenko S.M., Bobrovnikova K.Yu., Nicheporuk A.O., Savenko B.O.; vlasnyk Khmelnytskyi natsionalnyi universytet. – № u201701743; zaiavl. 23.02.2017; opubl. 10.08.2017, Biul. № 15/2017.

Рецензія/Peer review : 13.11.2017 р. Надрукована/Printed :25.01.2018 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК: 004.738.1

Б.Б. БАНІТ, С.Р. КРАСИЛЬНИКОВ
Хмельницький національний університет

ВИБІР ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КОНТЕНТОМ ДЛЯ ПОБУДОВИ КОРПОРАТИВНОГО САЙТУ

В статті розглянута проблема створення корпоративних сайтів як передумови успішної підприємницької діяльності кампаній. Проаналізовані найбільш популярні системи управління контентом (CMS), що використовуються веб-розробниками для створення корпоративних сайтів: WordPress, Joomla!, MODx, Drupal, DataLife Engine, uCoz, Setup.ru, Nethouse. В основу порівняльного аналізу безкоштовних CMS автори обрали такі критерії, як відкритість вихідного коду, знання мови програмування, наявність готових шаблонів, рівень складності системи, популярність серед розробників, підтримка додаткових модулів, наявність безкоштовного хостингу, наявність дистрибутива, наявність локалізації, використаної мови програмування самої системи, використаної бази даних, рівні безпеки тощо. Отримані результати дослідження систем управління контентом можуть бути використані розробниками корпоративних сайтів під час вибору оптимального CMS.

Ключові слова: Content Management System (CMS), Content Management Framework (CMF), корпоративний сайт, WordPress, Joomla !, MODx, Drupal, DataLife Engine, uCoz, Setup.ru, Nethouse, Мівар.

B.B. BANIT, S.R. KRASILNIKOV
Khmelnytsky National University

DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL AND PROFESSIONAL TRAINING PROGRAMME SPECIALTY "CYBERSECURITY" ON THE BASIS COMPETENCE

With the growth of the Internet, Internet technologies are also developing at a rapid pace. Therefore, control systems are becoming increasingly popular, and their ease of use is increasing. In today's Internet space, you can find paid and free Content Management Framework (Systems), and their total number will reach more than 1000 systems that will meet the needs of any user . In this article the most popular Content Management Framework(Systems) now widely used by web developers were analyzed. These systems are suitable for the creation of electronic Corporate websites. There were considered the most popular free content management systems, such as: WordPress, Joomla!, MODx, Drupal, DataLife Engine, uCoz, Setup.ru, Nethouse. Also, a comparative analysis of free Content Management Framework (Systems) was carried out according to the selected criteria including open source, programming language knowledge, the availability of ready-made templates, the system complexity level, the popularity among developers, support for additional modules, the presence of free hosting, distribution presence, the presence of localization of the programming language used by the system, databases used, security level. At the end of the article you will see what kind of Content Management Framework(Systems) in the opinion of the author is most suitable for creating corporate sites , as well as the reasons why this particular Content Management Framework (Systems) better then others . Also you can see statistic in world what Content Management Framework (Systems) people use more then others and why they use directly this Content Management Framework (Systems) . After read you can compare characteristics all the most popular Content Management Frameworks(Systems) and decide which one will fit for your project. Keywords: Content Management System (CMS), Content Management Framework (CMF),Electronic Educational Resources (EER), WordPress, Joomla!, MODx, Drupal, DataLife, Engine, uCoz, Setup.ru, Nethouse, Mivar.

Key words: Content Management System (CMS), Content Management Framework (CMF), Corporate Website, WordPress, Joomla !, MODx, Drupal, DataLife Engine, uCoz, Setup.ru, Nethouse, Miwar.

Вступ. Після появи першого web-браузера і сервера в 1991 році Web продовжує рости стрімкими темпами. Кількість активних сайтів у мережі Інтернет перейшла за позначку в один мільярд, а чисельність активних користувачів перевищує три мільярди [1, 2]. У сучасному світі створення власного інтернет-сайту давно вже стали обов'язковим етапом розвитку будь-якої компанії. Розповісти про свої продукти і послуги, донести важливу інформацію до клієнтів, оперативно розмістити новини – такі поточні завдання вирішує компанія за допомогою власного сайту. Однак, якщо створений корпоративний сайт не розвивається, з часом він втрачає свою актуальність. Тому важливо не тільки створити максимально функціональний і привабливий сайт, але і заздалегідь сформувати програму його постійного розвитку. Бізнес не стоїть на місці, відбуваються постійні зміни. Своєчасне відображення всіх змін – прямий обов'язок будь-якого корпоративного сайту. Крім того, необхідно стежити за актуальністю конфігурації сайту.

Мета статті. В статті вирішується завдання аналізу існуючих систем управління контентом найбільш адаптованих для створення корпоративних сайтів.

Актуальність досліджень. Корпоративні сайти, створені декілька років тому, зазвичай поступаються сучасним. Це стосується не тільки додаткових функцій і можливостей, але й дизайну, зручності використання і, як наслідок, сприйнятті сайту відвідувачами. Однак управління вмістом сучасного сайту фактично неможливо без використання систем управління контентом. Відтак, ефективне управління вмістом сучасного сайту практично неможливо без використання систем управління контентом.

Система управління контентом (Content Management System, CMS) – це інформаційна система, яка використовується для забезпечення і організації спільного процесу створення, редагування і управління контентом. Основні функції CMS систем спрямовані на надання користувачу інтерфейсу для роботи з текстовим і графічним вмістом сайту, зручним інструментарієм для зберігання і публікації інформації, автоматизацію процесів розміщення інформації в базах даних та її видачу в HTML.

Структура CMS базується на каркасі CMF (Content Management Framework), використовується для проектування систем управління контентом, і візуальній технології WYSIWYG (What You See Is What You

Get – «що бачиш, то і отримаєш»), яка в процесі редагування показує вміст та максимально відображає кінцевий результат.

Системи управління вмістом поділяються на:

• системи управління вмістом масштабу підприємства (Enterprise Content Management System, ECMS);

• системи управління веб-вмістом (Web Content Management System, WCMS).

ECMS, у свою чергу, класифікуються за предметними галузями, що призвело до заміни WCMS терміном CMS.

Виклад основного матеріалу. На сьогодні існує безліч платних та безкоштовних систем управління контентом. Для розроблення корпоративних сайтів рекомендується використовувати безкоштовні CMS. Рейтинг безкоштовних систем управління сайтами iTrack існує з 2009 року, складений за інформацією про реальні установки на сайтах. Цей рейтинг визнаний більшістю розробників CMS і перевірений компанією Microsoft. За даними ресурсу iTrack загальний рейтинг безкоштовних CMS станом на листопад 2014 року представлений на малюнку 1.

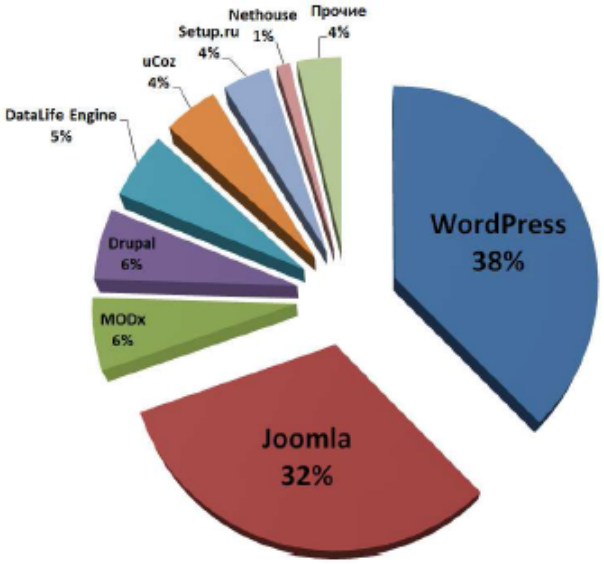


Рис. 1. Рейтинг безкоштовних CMS систем станом на листопад 2014року

Як видно з мал.1, ранжуванню підлягали такі CMS: Wix, InstantCMS, Jimdo, CMS Made Simple, LiveStreet, MaxSiteCMS, TYPO3, Danneo, okis.ru, Textpattern, AVE.cms, concrete5, NGCMS, Alto CMS, uDiscuz !. Отже, найбільш популярними визнані такі системи як WordPress, Joomla !, MODx, Drupal, DataLife Engine, uCoz, Setup.ru, Nethouse.

Стисло охарактеризуємо найбільш популярні безкоштовні CMS системи.

WordPress – система керування вмістом сайту, розроблена Меттом Мюлленвегом в 2003 році. CMS відрізняється відкритістю вихідного коду і зручною панеллю керування для конструювання різного виду проектів, від блогів до складних новинних ресурсів і інтернет-магазинів.

Joomla! – система керування вмістом, перша версія якої була створена 16 вересня 2005 року. CMS Joomla! характеризується відкритістю вихідного коду, містить мінімальний набір інструментів при початковому встановленні, який доповнюється за необхідності. Ця особливість CMS дозволяє зменшити захаращення адміністративної панелі непотрібними елементами та навантаження на сервер, економити місце на хостингу, розмістити велику кількість мовних пакетів.

MODx Revolution – система управління вмістом, перша версія якої вийшла в 2010 році. У 2012 році запущений хмарний хостинг для сайтів MODx Cloud. Серед переваг цього CMS відзначається кроссплатформеність, підтримка модульної розробки, відкритість вихідного коду і ліцензії. Написана мовою програмування PHP, використовує для зберігання даних СУБД MySQL або MS SQL.

Drupal – система управління вмістом, яка використовується як каркас для веб-додатків (CMF), написана мовою PHP і використовує як сховище даних реляційну базу даних. Розробка системи почалася в 2001 році Дрісом Бьойтартом. До переваг цієї CMF можна віднести: простота і безпека в роботі з адміністративною панеллю, кроссплатформенність, відкритий код, підтримка модульної розробки, широкий спектр локалізації. На відміну від систем CMS, CMF Drupal менш ресурсомісткий. Серед недоліків відзначають слабке використання можливостей об'єктно-орієнтованого програмування в PHP і відсутність забезпечення сумісності з інтерфейсами розробки додатків.

DataLife Engine – система управління контентом, розроблена російською компанією «Софтньюс Медіа Груп» в 2004 році. Система написана мовою PHP і використовує MySQL в якості бази даних. Продукт позиціонується його розробниками як засіб для організації власних засобів масової інформації та блогів. Особливості цієї CMS-системи: кроссплатформеність, вузький спектр локалізації, закритий вихідний код безкоштовної ліцензії. За твердженнями окремих джерел, існують певні недоліки в безпеці цієї системи.

uCoz – безкоштовна система управління сайтом на основі CMS, розроблена 29 жовтня 2005 року. Особливості CMS системи: численні шаблони, закритість вихідного коду, підтримка модулів, широкий мовний спектр, 400 Мб файлового простору. Модулі uCoz можуть використовуватися як разом для створення повнофункціонального сайту, так і окремо.

Setup.ru – конструктор сайтів на основі CMS, запуск бета-версії якого відбувся 7 листопада 2011 року. Особливостями цієї системи є закритість вихідного коду, виділення безкоштовного домена і хостингу, 100 Мб файлового простору, безліч шаблонів для розроблення дизайну сайту. Основна аудиторія сервісу направлена на малий і регіональний бізнес. Продукт працює за моделлю Freemium. Уточнемо, що Freepremium – це преміум аккаунт, який дає додаткові можливості для CMS системи і є платним.

Nethouse – конструктор сайтів на основі CMS, запроваджений 11 листопада 2011 року. Для роботи в сервісі не потрібні глибокі знання з програмування. Серед особливостей Nethouse слід відзначити:

відсутність відкритого доступу до html-коду сайту, безмежний дисковий простір, безліч варіантів оформлення. Зараз існує 3 мови локалізації. Сервіс працює за моделлю Freemium.

Порівняння безкоштовних CMS систем**.** Нами проведено порівняння безкоштовних CMS систем за різними критеріям: відкритість вихідного коду, знання мови програмування, наявність готових шаблонів, рівень складності, популярність серед розробників, підтримка додаткових модулів, наявність безкоштовного хостингу, наявність дистрибутива, наявність локалізації, використана мова програмування самої системи, використана база даних, рівень безпеки (табл. 1).

Аналіз даних таблиці 1 свідчить, що найвищий рівень складності спостерігається у CMF системи Drupal, так як для роботи з нею потрібні глибокі знання з програмування. До недоліків цієї системи цієї CMF можна віднести відсутність можливості об'єктно-орієнтованого програмування. Незважаючи на це, Drupal має максимальний рівень безпеки, що надає їй перевагу серед інших систем.

Таблиця 1

Порівняння безкоштовних CMS систем за різними критеріями

Назва критерія	Назва безкоштовної CMS системи							
	Word Press	Joomla!	MODx	Drupal	DataLife Engine	uCoz	Setup. ru	Nethouse
Відкритість початкового коду	+	+	+	+	-	-	-	-
Знання мови програмування	+	+	+	+	-	-	-	-
Наявність готових шаблонів сайту	+	+	+	+	-	+	+	+
Рівень складності*	3	4	4	5	3	2	1	2
Кількість створених сайтів	Більше 50 млн	Більше 50 млн	Більше 100000	Більше 7 млн	Більше 90000	Більше 1000000	Менше 1000000	Менше 500000
Підтримка додаткових модулів	+	+	+	+	+	+	-	+
Наявність безкоштовного хостинга	+	+	-	-	-	+	+	+
Наявність дистрибутива	+	+	+	+	+	-	-	-
Об`єм дистрибутива, Мб	14,9	31,2	31,7	14,1	6,8	-	-	-
Наявність локалізації	+	+	+	+ (модуль)	+	+	+	+
Поточна версія	4.1.1	3.3.3	2.3.3	7.34	10.4	Хостин-гова CMS	Хостин-гова CMS	Хостин-гова CMS
Мова програмування	PHP	PHP	PHP	PHP	PHP	Perl	Perl	PHP
База даних	MYSQL	MYSQL	MYSQL, MS SQL	MYSQL	MYSQL	Хостингова БД	MYSQL PostgreSQL	MYSQL
Рівень безпеки**	3	3	4	5	1	4	4	4

Примітка:

*Рівень складності оцінюється за 5 бальною шкалою: 5 – дуже складно, 1 – дуже легко.

**Рівень безпеки оцінюється за 5 бальною шкалою: 5 – максимальний рівень безпеки, 1 – мінімальний рівень безпеки.

Наступними за рівнем складності є системи Joomla! і MODx. В цих CMS для недосвідченого користувача панель управління є досить складною, що вимагає тонкого налаштування з боку адміністратора. Водночас, CMF MODx має великий рівень безпеки порівняно з CMS Joomla !.

До систем із середнім рівнем складності можна віднести WordPress і DataLife Engine (DLE). Слід відзначити, за даними статистики щодо безпеки сайтів, переважна кількість заражених сайтів припадає на ті, що створюються за допомогою CMS DataLife Engine.

Варто звернути увагу на CMS WordPress. На відміну від CMS DataLife Engine, вона має не тільки

хороший показник безпеки, а й надає безкоштовний хостинг з доменом третього рівня, величезну базу віджетів, модулів, а також характеризується відкритістю вихідного коду.

Найпростіші системи для використання – це uCoz, Setup.ru і Nethouse, перевагами яких є інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та проста адміністративна панель, що не вимагають знання програмування. Рівень безпеки цих CMS вищий ніж у DataLife Engine, Joomla! і WordPress. Водночас, вони не мають відкритого вихідного коду, відсутній дистрибутив для роботи з системою в автономному режимі.

Проведений порівняльний аналіз показав, що у кожної CMS системи є свої переваги та недоліки, узагальнення яких ми представляємо в таблиці 2. Але серед них є найбільш ефективна система, яка оптимально підходить для розробки електронних корпоративних сайтів, а саме WordPress. Дана система є золотою серединою між CMF і простим конструктором сайтів, так як має зрозумілий інтерфейс, з яким може впоратися навіть недосвідчений користувач і хороший рівень безпеки.

Таблиця 2

Переваги та недоліки CMS систем

Система управління контентом	Переваги	Недоліки
WordPress	Зручне навігаційне меню, велика база безкоштовних модулів, відмінно взаємодіє з пошуковими системами, велика кількість безкоштовних тем, легке налаштування і установка CMS	Велика частина модулів не налаштована на російську мову
Joomla!	Велика кількість навчальних матеріалів, низьке споживання ресурсів	Створення великої кількості зайвого коду, повільне завантаження сторінок, складна панель адміністратора
MODx	Зручне й просте вбудовування різноманітних шаблонів і можливість їх редагування, можливість паралельно розробляти декілька сайтів, високий рівень безпеки, можливість тонкого налаштування сайту, як в CMF	Повільна адміністративна панель, система складна для недосвідченого користувача
Drupal	Кроссплатформенність, хороша система безпеки, безкоштовна для поширення в комерційних цілях, висока продуктивність	Складна для недосвідченого користувача, високе навантаження на БД, відсутність ТОП, недоробки в кешуванні
DataLife Engine	Проста панель управління, висока продуктивність, простий в опануванні	Слабка система безпеки, безкоштовна версія має закритий код
uCoz	Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, сервери добре витримують будь-яке навантаження	400 Мб дискового простору, наявність реклами, відсутня підтримка PHP і MySQL, обмеження в движках uCoz - символи, каталоги, повідомлення тощо
Setup.ru	Оптимізована під пошукові системи, величезна база шаблонів, безкоштовне доменне ім’я другого рівня	100 Мб дискового простору, обмежена сфера застосування
Nethouse	Безмежний дисковий простір, зручний інтерфейс, інтеграція з соціальними мережами, відсутність реклами	Немає можливості вставити HTML-код

Висновки. Проведений порівняльний аналіз дозволяє зробити висновок, що для створення корпоративних сайтів ефективно використовувати технології CMS систем. Застосування таких технологій дозволяє швидко і легко створювати ЕОР без спеціальних навичок. CMS характеризуються великою функціональністю, що дозволяє не витрачати зайвий час на написання окремих модулів інтерактивності ЕОР. Важливість цього факту зростає у зв’язку з активним використанням при створенні корпоративних сайтів сьогодні інтерактивних модулів 3D технологій, які дозволяють створювати віртуальну реальність. Розробка системи віртуальної реальності дозволяє «зануритися людині» у віртуальний простір, де за необхідності, можна «переходити» з одного тривимірного базису в інший, «подорожуючи» у багатовимірному інформаційному просторі і вивчати його. Застосування таких систем важливе як для створення електронних корпоративних сайтів, так і для розроблення повномасштабних віртуальних лабораторій, тренажерів та інтелектуальних систем загалом.

З огляду на те, що CMS має систему управління контентом та адаптивну систему верстки, вона значно повільніше працює порівняно зі звичайними веб-сайтами. Її істотним недоліком є вразливість системи – код CMS загальнодоступний і будь-яка знайдена вразливість ставить під загрозу всі сайти, створені за допомогою цієї системи. Отже, на нашу думку, найбільш зручною CMS для проектування корпоративного сайту є система WordPress. Ця система задовольняє сучасним вимогам безпеки і надійності, а тому є найпопулярнішою серед безкоштовних CMS систем. WordPress проста і доступна для переважної

більшості проектувальників корпоративних сайтів. Крім того, за допомогою цієї системи вже були створені успішні проекти як skype, sony, css-tricks, Techcrunch, що підтверджує актуальні використання CMS WordPress для створення корпоративних сайтів.

Література

1. Україна. Закони. Про вищу освіту [Електронний ресурс] : закон України від 01.07.2014 р. № 1556-VII. – Режим доступу : http:// www.vnz.org.ua/zakonodavstvo/ 111-zakon-ukrayiny-pro-vyschu-osvitu. – (дата звернення: 14.04.2016).

2. Перелік галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти [Електронний ресурс] : постанова КМУ (№ 266) : [прийнято КМУ 29.04.2015 р.]. – Режим доступу : http://www.kmu.gov.ua/control/uk/cardnpd?docid=248149695. (дата звернення: 14.04.2016).

3. Перелік напрямів, за якими здійснюється підготовка фахівців у вищих навчальних закладах за освітньо-кваліфікаційним рівнем бакалавра [Електронний ресурс] : постанова КМУ (№ 1719) : [прийнято КМУ 13.12.2006 р.]. – Режим доступу : http://www.kodeksy.com.ua› …КМУ…Постанова/1719…13.12.2006.htm. – (дата звернення: 14.04.2016).

4. Ланде Д.В. Аналіз інформаційних потоків у глобальних комп'ютерних мережах. За матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 25 січня 2017 року / Д.В. Ланде // Вісн. НАН України. – 2017. – № 3. – С. 45–53.

5. Мясіщев О.А. Мережні інформаційні технології : навчальний посібник / Мясіщев О.А., Джулій В.М., Красильников С.Р., Чешун В.М. – Хмельницький : ХНУ, 2012. – 422 с.

6. Візуальна технологія WYSIWYG [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://bourabai.ru/einf/wysiwyg.htm

7. Рейтинг CMS за версією iTrack [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://itrack.ru/research/cmsrate/#!cms-free-tab

8. Joomla !. Історія Joomla! [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://joomla.ru/about/history

9. SETUP. Словник термінів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.setup.ru/wiki/

10. Чувіков Д.А. Самостійна розробка персонального сайту учителем / Д.А. Чувіков // European student scientific journal. – 2014. – № 1. – С. 16–21.

11. Дослідження безпеки сайтів на різних CMS [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://habrahabr.ru/company/ruward/blog/209950/

12. Чувіков Д.А. аналіз технологій тривимірного моделювання і створення 3D об'єктів для різних

13. інтелектуальних систем / Д.А. Чувіков, Н.А. Казакова, О.О. Варламов, А.М. Хадієв // Автоматизація та управління в технічних системах. – 2014. – № 2.1. – С. 84-97. – DOI: 10.12731 / 2306-1561-2014-2-9.

14. Чувіков Д.А. Порівняльний аналіз 3D форматів зберігання иданих в інтелектуальних системах і системах віртуальної реальності / Д.А. Чувіков, В.П. Феоктистов //Автоматизація та управління в технічних системах. – 2014. – № 4. – С. 3–14. – DOI: 10.12731 / 2306-1561-2014-4-1.

References

1. Ukraina. Zakony. Pro vyshchu osvitu [Elektronnyi resurs] : zakon Ukrainy vid 01.07.2014 r. № 1556-VII. – Rezhym dostupu : http:// www.vnz.org.ua/zakonodavstvo/ 111-zakon-ukrayiny-pro-vyschu-osvitu. – (data zvernennia: 14.04.2016).

2. Perelik haluzei znan i spetsialnostei, za yakymy zdiisniuietsia pidhotovka zdobuvachiv vyshchoi osvity [Elektronnyi resurs] : postanova KMU (№ 266) : [pryiniato KMU 29.04.2015 r.]. – Rezhym dostupu : http://www.kmu.gov.ua/control/uk/cardnpd?docid=248149695. (data zvernennia: 14.04.2016).

3. Perelik napriamiv, za yakymy zdiisniuietsia pidhotovka fakhivtsiv u vyshchykh navchalnykh zakladakh za osvitno-kvalifikatsiinym rivnem bakalavra [Elektronnyi resurs] : postanova KMU (№ 1719) : [pryiniato KMU 13.12.2006 r.]. – Rezhym dostupu : http://www.kodeksy.com.ua› …KMU…Postanova/1719…13.12.2006.htm. – (data zvernennia: 14.04.2016).

4. Lande D.V. Analiz informatsiinykh potokiv u hlobalnykh kompiuternykh merezhakh. Za materialamy naukovoi dopovidi na zasidanni Prezydii NAN Ukrainy 25 sichnia 2017 roku / D.V. Lande // Visn. NAN Ukrainy. – 2017. – # 3. – S. 45–53.

5. Miasishchev O.A. Merezhni informatsiini tekhnolohii : navchalnyi posibnyk / Miasishchev O.A., Dzhulii V.M., Krasylnykov S.R., Cheshun V.M. – Khmelnytskyi : KhNU, 2012. – 422 s.

6. Vizualna tekhnolohiia WYSIWYG [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://bourabai.ru/einf/wysiwyg.htm

7. Reitynh CMS za versiieiu iTrack [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://itrack.ru/research/cmsrate/#!cms-free-tab

8. Joomla !. Istoriia Joomla! [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://joomla.ru/about/history

9. SETUP. Slovnyk terminiv [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://www.setup.ru/wiki/

10. Chuvikov D.A. Samostiina rozrobka personalnoho saitu uchytelem / D.A. Chuvikov // European student scientific journal. – 2014. – # 1. – S. 16–21.

11. Doslidzhennia bezpeky saitiv na riznykh CMS [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://habrahabr.ru/company/ruward/blog/209950/

12. Chuvikov D.A. analiz tekhnolohii tryvymirnoho modeliuvannia i stvorennia 3D obiektiv dlia riznykh

13. intelektualnykh system / D.A. Chuvikov, N.A. Kazakova, O.O. Varlamov, A.M. Khadiiev // Avtomatyzatsiia ta upravlinnia v tekhnichnykh systemakh. – 2014. – № 2.1. – S. 84-97. – DOI: 10.12731 / 2306-1561-2014-2-9.

14. Chuvikov D.A. Porivnialnyi analiz 3D formativ zberihannia ydanykh v intelektualnykh systemakh i systemakh virtualnoi realnosti / D.A. Chuvikov, V.P. Feoktystov //Avtomatyzatsiia ta upravlinnia v tekhnichnykh systemakh. – 2014. – № 4. – S. 3–14. – DOI: 10.12731 / 2306-1561-2014-4-1.

Рецензія/Peer review : 10.11.2017 р. Надрукована/Printed :31.01.2018 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.384.3

І.В. КАРПЕНКО, В.Г. КОЛОБРОДОВ, Б.В. СОКОЛ
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПОЛЯРИЗАЦІЙНИЙ МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ТЕПЛОКОНТРАСТНОЇ ЦІЛІ НА ФОНІ ЗАВАД

У даній статті розглянуто проблеми виявлення теплоконтрастних цілей на фоні завад, в яких приділяється увага повному усуненню поляризаційних складових фону при повному збереженні поляризованих складових цілі. Даний метод реалізується розкладанням інтенсивності випромінювання на складові та визначенням ступеня поляризації під час зміни кута поляризації, що дозволяє виділити повністю поляризаційну компоненту, яка ідентифікує ціль.

Ключові слова: тепловізор, поляризація, теплоконтрасна ціль, фонові завади.

I.V. KARPENKO, V.G. KOLOBRODOV, B.V. SOKOL
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

POLARIZATION METHOD OF DETECTING THE THERMAL CONTRAST TARGET AGAINST THE BACKGROUND OF INTERFERENCE

In this article the problems of detection of thermal contrast objects in the background of obstacles are considered, in which the attention is paid to the complete elimination of the polarization background components with full preservation of the polarized component goals. This method allows you to split the information from the image into constituents, and highlight a target size of several pixels. In fact, the direction of the background polarization angle can be replaced by the average value throughout the image polarization angle. Thus, the basic principle of the method is as follows: based on the difference between the target polarization angle and the background polarization angle, the method of optimizing the direction of full polarization is used to preserve as much information as possible of the target polarization, eliminating as much background polarization information as possible, if possible. The methodology is based on the difference between the target polarization angle and the background polarization angle, which uses full polarization to maintain as much information as possible of the target polarization and eliminate as much background polarization information as possible. We also considered the decomposition of polarization light using the Stokes parameters.

Keywords: thermal imager, polarization, heat-coagulation target, background noise.

Вступ

Використання оптичних систем для виявлення цілей застосовується довгий час. Ранні спроби виявлення цілей передбачали наявність завад, в порівнянні з піксельним полем зору, де цілі були невеликими, а тому дана проблема є невирішеною. Малі цілі, що займають декілька пікселів, часто губляться в інфрачервоних зображеннях фонів. Це в свою чергу ускладнює виявлення цілі. При виявлення цілі традиційними методами, що базуються на візуалізації інтенсивності інфрачервоного випромінювання, стикаються з рядом проблем, тому почали використовувати технології з виявлення поляризації інфрачервоного випромінювання. Дана технологія дозволяє отримати інформацію стосовно поляризації інфрачервоного випромінювання цілі з інтенсивністю інфрачервоного випромінювання на основі поляризаційних характеристик, а саме, ступінь та кут поляризації, різниця між горизонтальними та вертикальними складовими поляризації тощо. З середини минулого століття вчені проводять дослідження в області інфрачервоної поляризації з метою виявлення та розпізнавання цілі. У роботі Річарда Тоулі [1] досліджується можливість імітованого виявлення цілі з використанням поляризації інфрачервоного випромінювання та запропоновано метод подавлення фону. Саджад [2] та Чун [3] виокремлюють статистичні характеристики цілі із застосуванням інтенсивності інфрачервоного випромінювання, ступеня поляризації, кута поляризації, що використовується для виявлення малих цілей. Хоча методи з використанням інформації про поляризацію дозволяють виявити імітовані цілі на фоні завад, однак здатність до завадостійкості та зменшення шуму може бути поліпшена, якщо механізм поляризації буде вивчений ретельніше. При дослідженні принципу поляризації інфрачервоного випромінювання виявляється, що поляризаційний стан цілі частково поляризований і може бути розкладений на суму лінійно поляризованих компонентів та компоненти природного світла. Отже, якщо компоненти природного світла можна розкласти, тоді можливо використати суму лінійно поляризованих компонентів, що дозволяє виявляти цілі. В даній статті запропоновано метод виявлення цілі з використанням поляризації інфрачервоного випромінювання. Даний метод дозволяє виявити невелику ціль в інфрачервоному діапазоні та продемонструвати ефективність та надійність запропонованого методу.

Фізико-математична модель

Інфрачервоне випромінювання від об'єкта, в якому світлова хвиля розглядається як частково поляризоване світло, складається з суперпозиції поляризованого і природного світла [4]. Після проходження через поляризатор, що обертається навколо оптичної осі, та об'єктива (рис. 1), випромінювання від цілі потрапляє до пристрою виявлення – приймача випромінювання, який представлений у вигляді мікроболометричної матриці, яка розміщена на платі та має захисне скло.

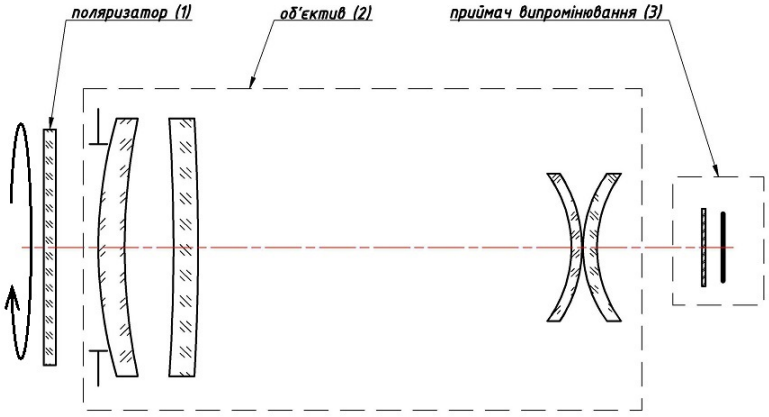


Рис. 1. Оптична схема поляризаційного тепловізора

Позначимо інтенсивність природного світла через $I_н$, а лінійно поляризоване світло через $I_п$. Оскільки ми маємо справу з пасивним зображенням, можна ігнорувати циркулярно поляризовані компоненти. Таким чином, випромінювана інтенсивність може бути розкладена на складові:

$$I = I_н + I_п \tag{1}$$

Відповідно до закону Малюса, інтенсивність природної складової, після проходження поляризатора в напрямку θ, становитиме $I_н(\theta) = I_н/2$, а лінійно-поляризована складова – $I_п(\theta) = I_п \cdot \cos^2(\theta - \varphi)$, де φ – кут поляризації падаючого променем (рис. 2).

$$I(\theta) = I_н(\theta) + I_п(\theta) = I_н/2 + I_п \cdot \cos^2(\theta - \varphi) \tag{2}$$

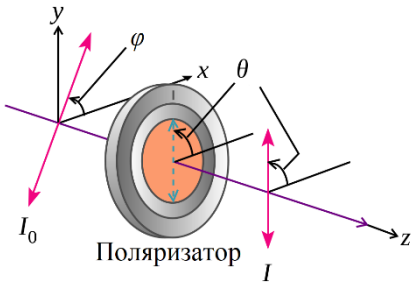


Рис. 2. Поляризація

Визначимо ступень поляризації як [5]:

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{I_{//} - I_{\perp}}{I_{//} + I_{\perp}}, \tag{3}$$

де $I_{\max} = I_{//} = |E_{//}|^2$ і $I_{\min} = I_{\perp} = |E_{\perp}|^2$ – інтенсивності двох взаємно перпендикулярних складових поляризації.

Розкладаючи $I_{//}$ як поляризаційну складову інтенсивності в напрямку поляризації φ по формулі (2) отримуємо:

$$I_{//}(\varphi) = I(\varphi) = I_н(\varphi) + I_п(\varphi) = \frac{1}{2} I_н + I_п, \tag{4}$$

аналогічно з рівняння (2) отримуємо:

$$I_{\perp}(\varphi) = I\left(\varphi + \pi/2\right) = I_н\left(\varphi + \pi/2\right) + I_п\left(\varphi + \pi/2\right) = \frac{1}{2} I_н \tag{5}$$

Підставивши (4) та (5) в (3) отримаємо ступінь поляризації пікселів [5]:

$$P = \frac{I_{//} - I_{\perp}}{I_{//} + I_{\perp}} = \frac{\frac{1}{2} I_н + I_п - \frac{1}{2} I_н}{\frac{1}{2} I_н + I_п + \frac{1}{2} I_н} = \frac{I_п}{I_н + I_п} = \frac{I_п}{I} \tag{6}$$

Для інфрачервоних поляризованих зображень отриманих поляризацією в довільному напрямку поляризації θ, значення інтенсивності цільових і фонових пікселів визначаються наступним чином:

$$\begin{cases} I_{ц}(x,y,\theta) = I_{ц.н}(x,y,\theta) + I_{ц.п}(x,y,\theta) + \omega, \\ I_{ф}(x',y',\theta) = I_{ф.н}(x',y',\theta) + I_{ф.п}(x',y',\theta) + \omega, \end{cases} \quad (7)$$

де (x,y) лежать в площині цілі, а (x',y') – в площині фону, $I_{ц}(x,y,\theta)$ – поляризована інтенсивність світла цільових пікселів в напрямку поляризації θ, $I_{ц.н}(x,y,\theta)$ – природна світлова складова цільових пікселів, $I_{ц.п}(x,y,\theta)$ – лінійно поляризована складова цільових пікселів, ω – шум пікселя. Аналогічно розшифровуються і складові параметрів фонових пікселів. Підставивши формули (2), (6) в (7) отримаємо інфрачервону інформаційну поляризовану модель, що виглядає наступним чином:

$$\begin{cases} I_{ц}(x,y,\theta) = I_{ц}(x,y)\left\{\frac{1}{2}\left[1 - P_{ц}(x,y)\right] + P_{ц}(x,y)\cos^2\left[\theta - \varphi_{ц}\right]\right\} + \omega, \\ I_{ф}(x',y',\theta) = I_{ф}(x',y')\left\{\frac{1}{2}\left[1 - P_{ц}(x',y')\right] + P_{ц}(x',y')\cos^2\left[\theta - \varphi_{ф}\right]\right\} + \omega, \end{cases} \quad (8)$$

де $I_{ц}(x,y)$ та $I_{ф}(x,y)$ – це інфрачервоні інтенсивності значення цільових та фонових пікселів, відповідно.

Принцип поляризаційного розкладу

У рівнянні (8), без урахування шуму ω, спостерігається зміна кривої інфрачервоної поляризації пікселів цілі та фону у напрямку поляризації θ еліпса. Еліптичність – це ступінь поляризації Р в напрямку довгої осі еліпса, що відповідає напрямку кута поляризації, а тому вписане коло в еліпс є природним світлом. Таким чином, очевидно, що поляризована інтенсивність випромінювання складається з компонентів природного та лінійно поляризованого світла. Лінійно поляризовані складові в напрямку кута поляризації є найбільшими, а лінійно поляризовані складові в напрямку перпендикулярному куту поляризації – найменшими.

Як показано на рис. 3, що через різницю між кутом фонової поляризації та кутом цільової поляризації, якщо обчислити інтенсивність поляризованого світла в напрямку перпендикулярному до фонової поляризації кутового напрямку, отримаємо інтенсивність поляризаційного зображення $I(\varphi - \pi/2)$. Це зображення містить частково поляризаційне світло, об'єкти та природній фон світла, що є лінійно поляризованою складовою світла без фону. Фактично, напрямок кута поляризації фону може бути замінений на середнє значення по всьому куту поляризації зображення [4].

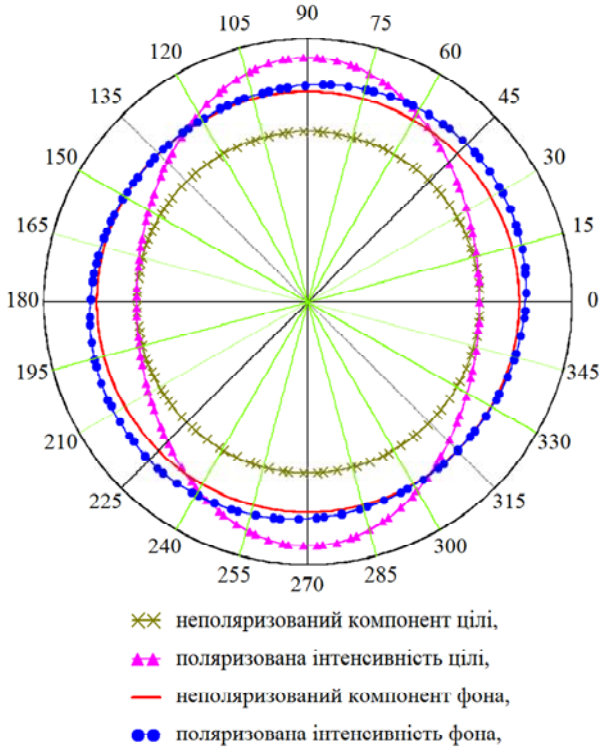


Рис. 3. Варіаційні криві інтенсивності поляризованого світла цілей та фону в залежності від напрямку поляризації [4]

Таким чином, основний принцип методу буде наступним: на основі різниці між кутом цільової поляризації та кутом фонової поляризації, метод оптимізації напрямку повної поляризації використовується, щоб зберегти якомога більше інформації цільової поляризації, усуваючи якомога більше фонової поляризаційної інформації, якщо це можливо. Для невеликої цілі беручи невелику кількість пікселів середнє

значення кута фонової поляризації $\bar{\varphi}_{ф} = \bar{\varphi}$ може бути апроксимоване за допомогою середнього кута поляризації всього зображення [4], далі обчислюється змінна складова поляризації $I(\bar{\varphi} - \pi/2)$ в напрямку перпендикулярному до кута фонової поляризації. Отже, повністю поляризовані складові фону можуть бути усунені, а повністю поляризовані складові цілі можуть бути збережені.

Для точкової цілі, яка розташована на сильно захаращуваному фоні, велика частина інформації щодо інтенсивності не може бути використана для ідентифікації цілі та фона. Тому використовуючи розкладання повністю поляризованої складової, природна складова світла $I_{н}(\bar{\varphi} - \pi/2) = I_{н}/2$, в поляризаційному компоненті $I(\bar{\varphi} - \pi/2)$, може бути видалено.

$$I_{ц.п}(\bar{\varphi} - \pi/2) = I(\bar{\varphi} - \pi/2) - \frac{1}{2} I_{н} \tag{9}$$

Таким чином, фонова інформація може бути повністю усунена, зберігши тільки повністю поляризований компонент $I_{ц.п}(\bar{\varphi} - \pi/2)$ цілі, як в рівнянні (9). На рис. 4 показана схема принципу виявлення цілі запропонованого методу.

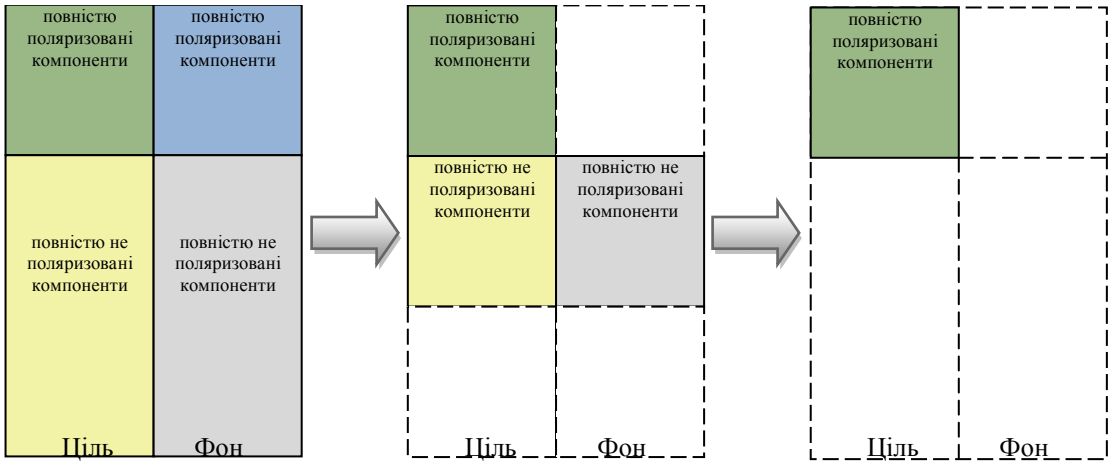


Рис. 4. Схема принципу виявлення точкових цілей на основі розкладання інформації про поляризацію [4]

Процес реалізації

Набір поляриметричного зображення, яке має принаймні три напрямки поляризації подається в алгоритмі (рис. 5). Процес виглядає наступним чином [4]:

Розрахунок стану поляризації для цільової сцени: довільне інфрачервоне поляризоване світло може бути виражено з використанням вектора Стокса. Після отримання поляризованої інтенсивності світла ($I(\theta_1)$, $I(\theta_2)$ та $I(\theta_3)$) більш ніж в трьох напрямках поляризації, можна обчислити кожен параметр Стокса *I*, *Q* та *U* за допомогою наведеного нижче рівняння:

$$I(\theta) = I\frac{1}{2}\left(I + Q\cos(2\theta) + U\sin(2\theta)\right) \tag{10}$$

Розкладання поляризації для цільової сцени: стан поляризації цільової сцени, частіше за все частково поляризований і може бути розкладений на суму лінійно поляризованих і природних складових. Таким чином, отримуємо інтенсивності лінійно поляризованої складової $I_{n} = \sqrt{Q^2 + U^2 + V^2}$ та інтенсивності природної складової світла $I_{н} = I - \sqrt{Q^2 + U^2 + V^2}$,

Обчислити зміну поляризаційної складової $I(\bar{\varphi} - \pi/2)$: розглядаючи напрямок поляризації θ як $\bar{\varphi} - \pi/2$, складова $I(\bar{\varphi} - \pi/2)$ може бути отримано перпендикулярно до напрямку середнього значення кута поляризації φ за допомогою рівняння (10). Таким чином, лінійно поляризована складова світла фонових пікселів $I_{ф.п}(\bar{\varphi} - \pi/2)$, зменшується.

Отримання лінійно поляризованої складової світла зі зміни поляризаційної складової: використовуючи розрахункові результати з наведених вище двох стадій, формули (4) та (5), видаляючи природний компонент поляризації світла $I_{н}(\bar{\varphi} - \pi/2) = I_{н}/2$ від компонента змінної поляризації $I_{н}(\bar{\varphi} - \pi/2)$, зберігаючи при цьому лінійно поляризовану складову світла $I_{ц.п}(\bar{\varphi} - \pi/2)$ з цільових пікселів.

Повне виявлення цілі: визначення порогу виявлення з використанням відповідного порогу

$I_{ц.п}(\bar{\varphi}-\pi/2)$.

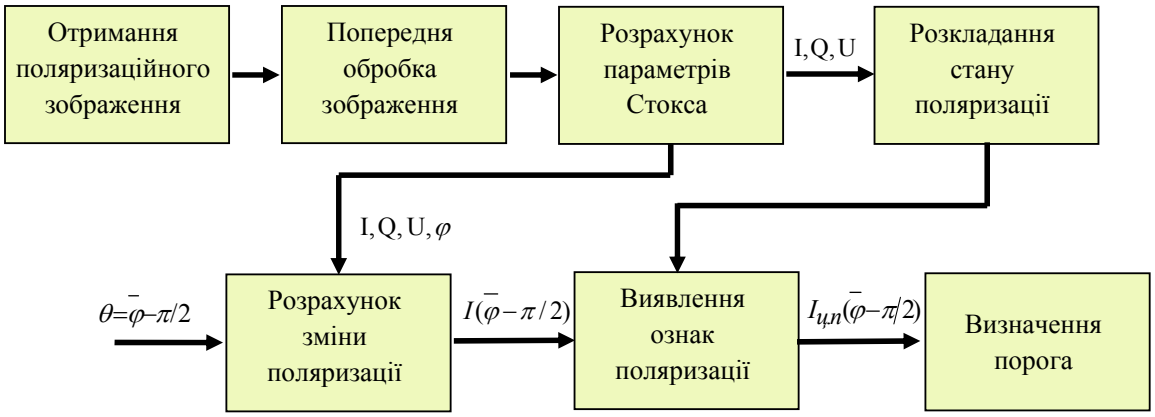


Рис. 5. Структурна схема алгоритму виявлення цілей [4]

Висновок

Незважаючи на всі складнощі виявлення невеликих цілей на фоні завад, даний метод з використанням поляризаційних складових дозволяє виявити невелику ціль в інфрачервоному діапазоні. Основний принцип розглянутого методу базується на основі різниці між кутом цільової поляризації та кутом фонової поляризації, в якому використовується повна поляризація в напрямку θ, щоб зберегти якомога більше інформації цільової поляризації та усуваючи якомога більше фонової поляризаційної інформації. Для невеликої цілі, беручи невелику кількість пікселів середнє значення кута фонової поляризації може бути апроксимоване за допомогою середнього кута поляризації всього зображення, далі обчислюється змінна складова поляризації в напрямку, перпендикулярному до кута фонової поляризації. Таким чином, повністю поляризовані складові фону можуть бути усунені, а повністю поляризовані складові цілі – збережені, що дозволяє виявити ціль розміром у декілька пікселів на значному фоні перешкод.

Література

1. Tooley R. D. Man-made target detection using infrared polarization / R. D. Tooley // Polarization considerations for optical systems II. – International Society for Optics and Photonics, 1990. – T. 1166. – P. 52–60.

2. Sadjadi F. A. New experiments in the use of infrared polarization in the detection of small targets / F. A. Sadjadi, C. S. L. Chun // Proc. SPIE. – T. 4379. – P. 145.

3. Sadjadi F. A. Automatic detection of small objects from their infrared state-of-polarization vectors / F. A. Sadjadi, C. S. L. Chun //Optics letters. – 2003. – T. 28. – №. 7. – P. 531–533.

4. Zhang Y. Infrared small target detection method based on decomposition of polarization information / Y. Zhang, Z. G. Shi, T. W. Qiu // Journal of Electronic Imaging. – 2017. – T. 33004. – № 1.

5. Венгринович Р. Д. Фізика / Р. Д. Венгринович, М. О. Стасик. – Чернівці : Друк Арт, 2017. – 736 с.

References

1. Tooley R. D. Man-made target detection using infrared polarization / R. D. Tooley // Polarization considerations for optical systems II. – International Society for Optics and Photonics, 1990. – T. 1166. – P. 52–60.

2. Sadjadi F. A. New experiments in the use of infrared polarization in the detection of small targets / F. A. Sadjadi, C. S. L. Chun // Proc. SPIE. – T. 4379. – P. 145.

3. Sadjadi F. A. Automatic detection of small objects from their infrared state-of-polarization vectors / F. A. Sadjadi, C. S. L. Chun //Optics letters. – 2003. – T. 28. – №. 7. – P. 531–533.

4. Zhang Y. Infrared small target detection method based on decomposition of polarization information / Y. Zhang, Z. G. Shi, T. W. Qiu // Journal of Electronic Imaging. – 2017. – T. 33004. – № 1.

5. Venhrynovych R. D. Fizyka / R. D. Venhrynovych, M. O. Stasyk. – Chernivtsi : Druk Art, 2017. – 736 s.

Рецензія/Peer review : 27.11.2017 р. Надрукована/Printed :30.01.2018 р.
Рецензент: к.т.н., доцент Микитенко І.В.

УДК 004.075

В.В. ЖЕЛЄЗНЯК, О.А. МЯСІЩЕВ
Хмельницький національний університет

МЕТОД МОНІТОРИНГУ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ СПІЛЬНОГО АНАЛІЗУ ТИМЧАСОВИХ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕКА ПРОТОКОЛІВ TCP / IP

У зв'язку з наявністю на даний момент часу недосконалих систем мережевого моніторингу (СММ), актуальною задачею є розробка нових засобів спостереження мережі, які будуть базуватися на тимчасових закономірностях в роботі стека протоколів TCP / IP. Відповідно, виникає потреба побудови досконалого методу моніторингу мережі, в якому будуть враховуватися недоліки теперішніх методів. Базуючись на застосованих подібних методах в задачах моніторингу мережі та забезпечення мережевої інформаційної безпеки, результатом є запропонований метод ідентифікації операційної системи (ІОС), заснований на спільному аналізі функціональних і часових характеристик стеку TCP/IP з використанням методів класифікації.

Ключові слова: моніторинг мережі, стек протоколів, ідентифікація операційної системи.

V.V. ZHELIEZNIAK, O.A. MYASISCHEV
Khmelnytsky National University

METHOD OF MONITORING COMPUTER NETWORKS BASED ON THE GENERAL ANALYSIS OF TEMPORARILY AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF THE TCP / IP PROTOCOL STACK

Wide dissemination of network monitoring systems in corporate and public information systems leads to the need to pay close attention to solving their inherent problems of uninterrupted and long-term functioning. As a result of the analysis carried out in the article the relevance of the development of methods and algorithms for monitoring computer networks (CN) based on the analysis of time patterns in the work of the TCP / IP protocol stack and the construction of a network monitoring system on their basis. As a result of the research carried out by the authors, it was concluded that the perspective direction of improving the technology of monitoring the computing network is the development of methods for analyzing the information environment, which are implemented through the mechanism of retransmissions. A comparative analysis is performed on the criteria listed for extracting TCP / IP functional values that are used by the corresponding methods of identification of the operating system (IOS). An analysis of the main characteristics of the TCP / IP protocol stack was performed, which resulted in the main values for the development of the method. Due to the presence of imperfect systems of network monitoring (SNM) at present, the actual task is the development of new network monitoring tools that will be based on the timing patterns in the TCP / IP protocol stack. Accordingly, there is a need to build a perfect network monitoring method that takes into account the shortcomings of the current methods. Based on similar methods used in network monitoring and network information security tasks, the proposed method for identifying an operating system based on a joint analysis of the functional and time characteristics of the TCP / IP stack using classification methods is the result.

Key words: network monitoring, protocol stack, identification of operating system.

Вступ. В останні роки важливе значення набувають питання діагностики інформаційних систем та розробки ефективних засобів моніторингу. Класичні системи моніторингу забезпечують безперервний моніторинг тільки поточного стану вузлів, що входять до складу обчислювальних мереж (ОМ). На даному етапі розвитку мережевих технологій пред'являються вимоги щодо забезпечення можливостей прогнозування і діагностики стану обслуговуваних інформаційних систем в короткостроковій і довгостроковій перспективах, а також реалізації комплексного моніторингу, що включає аналіз не тільки поточного стану вузлів ОМ, але і комплексний аналіз системи.

Актуальними проблемами розробки систем моніторингу мережі є збільшення точності аналізу стану входять до складу ОМ вузлів, тобто забезпечення максимальної відповідності показань системи моніторингу реального стану інформаційної системи, а також мінімізація впливу підсистеми моніторингу (підсистем забезпечення мережевої інформаційної безпеки) на функціонування інших підсистем та зменшення інтенсивності обміну службовим трафіком.

Оскільки необхідність підтримки систем в працездатному стані відіграє важливу роль, розподілені інформаційні системи набувають важливу роль, завданням яких є постійний контроль за роботою обчислювальної мережі, що становить основу будь-якого сучасного цифрового обчислювального комплексу або інший розподіленої системи.

Постановка задачі. Розробка методу моніторингу обчислювальної мережі на основі спільно аналізу тимчасових та функціональних характеристик стеку протоколів TCP/IP. Визначення факторів, що впливають на його роботу та проаналізувати його ефективність відносно різних операційних систем. Порівняти функціональні особливості вилучення значень функціональних характеристик TCP / IP.

Основна частина.

Автором пропонується метод ІОС, заснований на спільному аналізі тимчасових і функціональних характеристик стека протоколів TCP / IP (transmission control protocol/internet protocol) цільового вузла (далі – метод ATFK) і зберігає переваги – необхідність наявності тільки одного відкритого TCP-порту на цільовому вузлі , низький рівень споживання трафіку і низький ступінь виявлення системами IDS (Intrusion Detection System) [1–3].

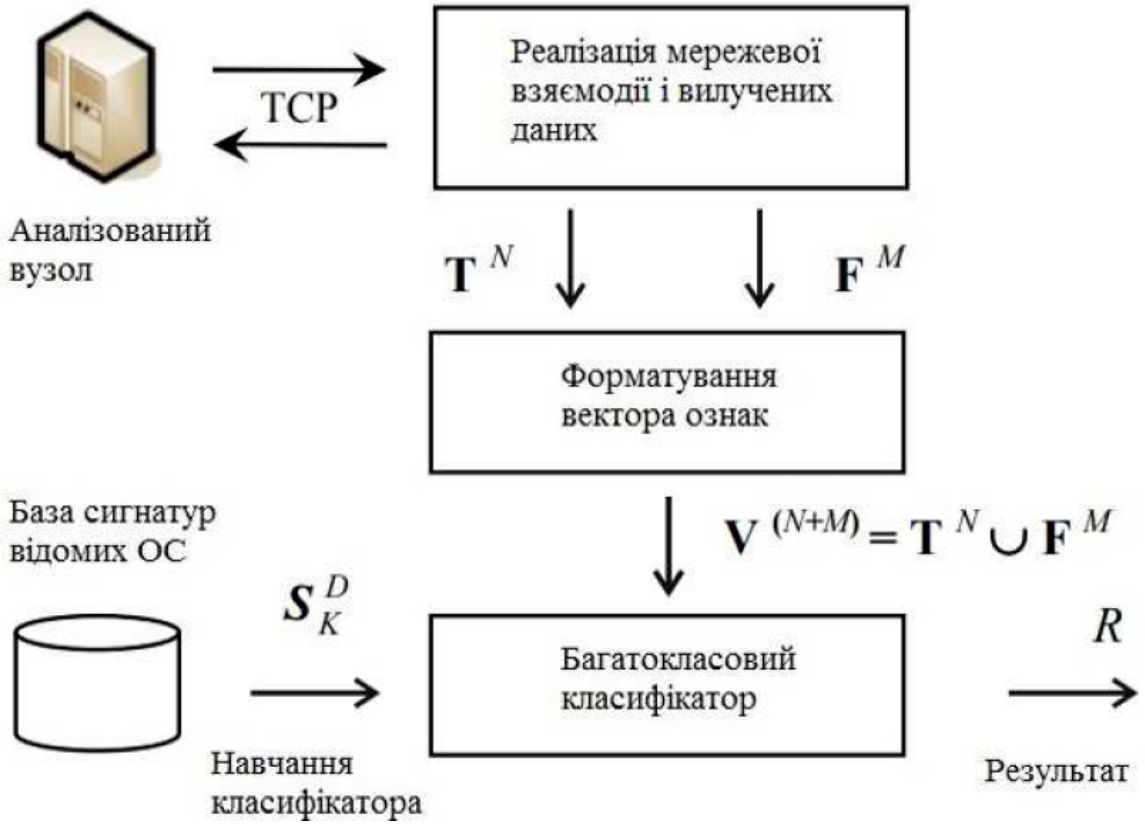


Рис. 1. Схема роботи методу ATFK

Для реалізації функцій ІОС ініціюється TCP-з'єднання з аналізованих вузлом і здійснюється збір значень тимчасових характеристик. Далі здійснюється збір функціональних характеристик TCP / IP. Вектори значень тимчасових характеристик T^N і розмірністю N і функціональних характеристик F^M розмірністю M об'єднуються в єдиний вектор ознак V^D розмірністю D, $D = N + M$, $V^D = T^D \cup F^M$, після чого вектор V^D передається для аналізу багатокласовому класифікатором, попередньо навченому на даних з еталонної бази сигнатур S_K^D. Результатом класифікації є номер R сигнатури з бази сигнатур, найбільш близькою до сигнатурі V^D. Версія ОС, відповідна результуючої сигнатурі R, є найбільш вірогідною версією ОС, що виконується на уже згадуваному вузлі.

Вибір набору використовуваних функціональних характеристик визначається функціональними вимогами, поставленими при розробці методу ATFK, а саме мінімізацією рівня споживання трафіку, прозорістю для систем IDS, система виявлення вторгнень і мінімізацією вимог по кількості відкритих і / або закритих портів TCP / UDP на цільовому вузлі. Для формування набору функціональних характеристик TCP / IP, що використовуються методом ATFK, проведено порівняльний аналіз за переліченими критеріями алгоритмів вилучення значень функціональних характеристик TCP / IP, що використовуються відповідними методами. Результати порівняльного аналізу представлені в таблиці 1.

Поставленим критеріям задовольняють алгоритми вилучення таких функціональних характеристик TCP / IP: розмір вікна TCP, опції TCP, значення тимчасової мітки, підтримка функцій ECN (Explicit Congestion Notification, повідомлення про перевантаженість в протоколі IP), значення біта дефрагментації, час життя пакета. Важливою особливістю перерахованих характеристик є можливість їх вилучення за допомогою аналізу пакету SYN-ACK, переданого цільовим вузлом в рамках процедури встановлення TCP-з'єднання. Таким чином, процедури вилучення значень функціональних і часових характеристик стека протоколів TCP / IP в рамках методу ATFK можуть бути об'єднані.

Відомо [4], що найважливішими показниками, що характеризують версію ОС і стека протоколів TCP / IP мережного вузла є розмір вікна і опції TCP, а також час життя пакета. Оскільки алгоритми вилучення значень перерахованих характеристик задовольняють вимогам, поставленим при розробці методу ATFK, аналіз даних характеристик в рамках методу ATFK за доцільне.

З метою визначення доцільності обробки в рамках методу ATFK значень тимчасової мітки і біта дефрагментації був проведений аналіз значень зазначених характеристик у складі пакету SYN-ACK більш ніж 40 різних версій ОС різних сімейств, включаючи Linux, Windows, FreeBSD, OpenBSD, NetBSD, Mac OS, Novell Netware, QNX, OS / 2, Solaris. В результаті дослідження встановлено такі факти:

Таблиця 1

Порівняльний аналіз функціональних особливостей ви лучення значень функціональних характеристик TCP / IP

Функціональна характеристика TCP / IP	Вимоги до наявності відкритих і закритих портів TCP / UDP	Кількість переданих пакетів; орієнтовний обсяг трафіку (байт)	Типи переданих пакетів	Прозорість для систем IDS
Розмір вікна TCP	Один відкритий порт TCP	2; 120	SYN SYN-ACK	Висока
Опції TCP		2; 120	SYN SYN-ACK	Висока
Алгоритм формування ISN		Не менше 6; не менше 360	SYN SYN-ACK	Низька
Значення тимчасової мітки		2; 120	SYN SYN-ACK	Висока
Підтримка TCP Overlap		Не менше 6; не менше 400	SYN SYN-ACK ACK Дані	Висока
Накопичувальне вікно TCP		Не менше 5; не менше 300	SYN SYN-ACK ACK Дані	Висока
Підтримка ECN		2; 120	SYN SYN-ACK	Висока
Значення біта дефрагментації	Не потрібно або один відкритий порт TCP	Не менше 2; не менше 120	SYN-ACK або ICMP exo-запит / exo-відповідь	Середня
Час життя пакету				Висока
Спосіб формування ідентифікатора заголовка IP	Один відкритий порт TCP	Не менше 6; не менше 300	SYN SYN-ACK	Низька

1. Біт дефрагментації не встановлюють такі ОС: деякі версії OpenBSD (зокрема версії 5.5, 6.0, 6.2), OS / 2 Warp 4, QNX 6.3, а також Windows Server 2012.

2. У разі підтримки тимчасових міток нульове значення тимчасової мітки встановлюють такі ОС: QNX 6.3, Windows 7, Windows Server 2012, Windows 10. Інші ОС встановлюють значення тимчасової мітки, відмінне від нуля [7].

Оскільки перелічені ОС в порівнянні з іншими проаналізованими ОС характеризуються розрізняються значеннями основних функціональних характеристик (набору опцій, розміру вікна і часу життя пакета), їх ідентифікація з використанням методу ATFK може бути виконана з високою ступенем достовірності, що не залежить від обліку значень біта дефрагментації і тимчасової мітки. Таким чином, включення значень тимчасової мітки і біта дефрагментації до складу аналізованих функціональних характеристик стека протоколів TCP / IP в рамках методу ATFK не є необхідним [10].

Аналіз підтримки функцій ECN не проводився. Сучасні реалізації стека протоколів TCP / IP забезпечують підтримку ECN, але дана функція є/відключається, що дозволяє користувачам вручну управляти її використанням [4]. Таким чином, факт наявності або відсутності підтримки ECN не є відмінною характеристикою конкретної реалізації стека протоколів TCP / IP і версії ОС, в зв'язку з чим використання даної характеристики в рамках методу ATFK не є доцільним.

На основі вищесказаного сформовано перелік функціональних характеристик стека протоколів TCP / IP, що використовуються для аналізу в рамках методу ATFK, до складу якого такі характеристики TCP / IP: набір опцій і порядок їх оголошення, розмір вікна TCP, час життя пакета (TTL). Додатково до складу аналізованих функціональних характеристик включено також значення опції масштабування вікна (Window Scale, WS). Встановлено, що в разі підтримки відповідної опції значення WS може бути нульовим, або відмінним від нуля і динамічно встановлюються ОС. При цьому в ряді випадків різні версії ОС можуть відрізнятися методом ATFK, які оперують перерахованими вище функціональними характеристиками, тільки за умови врахування значення WS (зокрема, це справедливо для ОС Linux 14.04 і Linux 16.04), що свідчить про доцільність окремого обліку значення даного параметра [5].

Виходячи з вищесказаного вектор функціональних характеристик TCP / IP, аналізованих в рамках методу ATFK, виглядає наступним чином:

$$F = \{T, K, S, 0\}$$

де T – значення часу життя пакета (TTL);

K – характеристика використання аналізованих стеком протоколів TCP / IP функції масштабування вікна;

S – значення розміру вікна TCP;

O – код набору опцій (кожної унікальної послідовності опцій TCP ставиться у відповідність цілочисельний порядковий номер) [9].

Діапазони допустимих значень і типи даних, що відповідають параметрам вектора функціональних характеристик, представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Типи даних і діапазони допустимих значень параметрів вектора функціональних характеристик TCP/IP [8]

Параметр	Тип даних	Діапазон значень
T – час життя пакету	Беззнаковий символьний (unsigned char)	0..255
K – характер використання опції масштабування вікна	Символьний (char)	-1..1 (-1 - опція WS не використовується; 0 – значення WS дорівнює нулю; 1 – значення WS відмінно від нуля)
S – розмір вікна TCP	Беззнакове коротке ціле (unsigned short)	0..65535
O – код набору опцій (порядковий номер у базі сигнатур)	Те ж	1..65535

Висновки

Найважливішими характеристиками методу є мінімізація рівня споживання трафіку, прозорістю для систем IDS, система виявлення вторгнень і мінімізацією вимог по кількості відкритих і / або закритих портів TCP / UDP на цільовому вузлі [6].

Запропоновано метод ІОС, заснований на спільному аналізі функціональних і часових характеристик TCP / IP з використанням методів класифікації, що відрізняється низьким споживанням трафіку і використанням тільки стандартних мережевих пакетів. Результати дослідження свідчить про перевагу алгоритму ATFK в порівнянні з існуючими активними методами ІОС, які отримали практичне застосування, за критеріями достовірності результатів і обсягом споживаного мережевого трафіку.

Сьогодні, мережевий моніторинг являю собою невід'ємну частину функціонування обчислювальних мереж. Розробка нових методів та алгоритмів є перспективною, оскільки технічний прогрес є досить швидкім. Удосконалення методів у цій сфері є досить актуальним.

Література

1. Лавров А. А. Метод идентификации версии системного программного обеспечения удаленного сетевого узла, основанный на комплексном анализе характеристик TCP/IP / А. А. Лавров, А. К. Большее // Известия СПбГЭ-ТУ «ЛЭТИ». – 2012. – № 1. – С. 45–51.

2. Лавров А. А. Идентификация ОС удаленного сетевого узла на основе комплексного анализа характеристик стека TCP/IP / А. А.Лавров, А. К. Большее, В. В. Яновский // Материалы VII международной научно-практической конференции «Перспективные разработки науки и техники». Przemysl, 07–15 ноября 2011. – Sp. z o.o. «Nauka I studia», 2011. – Т. 53. – С. 13–15.

3. Лавров А. А. Метод идентификации ОС удаленного узла на основе анализа функциональных и временных характеристик стека TCP/IP / А. А. Лавров // Сборник трудов XVII Международной открытой научной конференции «Современные проблемы информатизации в анализе и синтезе технологических и программно-телекоммуникационных систем» Воронеж, ноябрь 2011 – январь 2012. – Воронеж : Изд-во «Научная книга», 2012. – Вып. 17. – С. 271–273.

4. Lyon G. F. Nmap Network Scanning: The Official Nmap Project Guide to Network Discovery and Security Scanning / G. F. Lyon. – Nmap Project, 2009.

5. Кореньков В. В. История развития технологий мониторинга информационных систем / В. В. Кореньков, А. В. Ужинский // Системный анализ в науке и образовании. – 2007. – № 1. – С. 36–49.

6. Олифер Н. А. Средства анализа и оптимизации локальных сетей / Н. А. Олифер, Н. Г. Олифер. – М. : Центр Информационных Технологий, 1998.

7. Лавров А. А. Мониторинг и администрирование в корпоративных вычислительных сетях : монография / С. А. Ивановский, А. А. Лавров, В. В. Яновский. – СПб : Изд-во «СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. – 160 с.

8. Шыхалиев Р. Г. О применении интеллектуальных технологий в мониторинге компьютерных сетей

/ Р. Г. Шыхалиев // Informasiya Texnologiyalan Problembri. – 2011. – № 2. – С. 82–90.

9. Лавров А. А. Алгоритмы классификации в задаче идентификации версии ОС удаленного сетевого узла / А. А. Лавров // Сб. тр. 65-й науч.-техн. конф. проф.-преп. состава СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – СПб, 2012. – С. 102–106.

10. Ермаков А. В. Использование сетевого сканера для повышения защищенности корпоративной информационно-вычислительной сети / А. В. Ермаков. – М., 2001. – 16 с. – (Препринт / Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН; № 61).

References

1. Lavrov A. A. Metod identifikacii versii sistemnogo programmnogo obespechenija udalennogo setevogo uzla, osnovannyj na kompleksnom analize harakteristik TCP/IP / A. A. Lavrov, A. K. Bol'shee // Izvestija SPbGJe-TU «LJeTI». - 2012. - № 1. - S. 45-51.

2. Lavrov A. A. Identifikacija OS udalennogo setevogo uzla na osnove kompleksnogo analiza harakteristik steka TCP/IP / A. A.Lavrov, A. K. Bol'shee, V. V. Janovskij // Materialy VII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Perspektivnye razrabotki nauki i tehniki». - Przemysl, 07-15 nojabrja 2011 g. - Sp. z o.o. «Nauka I studia», 2011. - 53 t. - S. 13-15.

3. Lavrov A. A. Metod identifikacii OS udalennogo uzla na osnove analiza funkcional'nyh i vremennyh harakteristik steka TCP/IP / A. A. Lavrov // Sbornik trudov XVII Mezhdunarodnoj otkrytoj nauchnoj konferencii «Sovremennye problemy informatizacii v analize i sinteze tehnologicheskih i programmno-telekommunikacionnyh sistem». - Voronezh, nojabr' 2011 g. - janvar' 2012 g. - Voronezh: Izd-vo «Nauchnaja kniga», 2012. - Vyp. 17. - S. 271-273.

4. Lyon G. F. Nmap Network Scanning: The Official Nmap Project Guide to Network Discovery and Security Scanning / G. F. Lyon. - Nmap Project, 2009.

5. Koren'kov V. V. Istorija razvitija tehnologij monitoringa informacionnyh sistem / V. V. Koren'kov, A. V. Uzhinskij // Sistemnyj analiz v nauke i obrazovanii. - 2007. - № 1. - S. 36-49.

6. Olifer H. A. Sredstva analiza i optimizacii lokal'nyh setej / N. A. Olifer, N. G. Olifer. - M.: Centr Informacionnyh Tehnologij, 1998.

7. Lavrov A. A. Monitoring i administrirovanie v korporativnyh vychislitel'nyh setjah: monografija / S. A. Ivanovskij, A. A. Lavrov, V. V. Janovskij. - SPb.: Izd-vo «SPbGJeTU «LJeTI», 2013 - 160 s.

8. Shyhaliev R. G. O primenenii intellektual'nyh tehnologij v monitoringe komp'juternyh setej / R. G. Shyhaliev // Informasiya Texnologiyalan Problembri. - 2011. - № 2. - S. 82-90.

9. Lavrov A. A. Algoritmy klassifikacii v zadache identifikacii versii OS udalennogo setevogo uzla / A. A. Lavrov // Sb. tr. 65-j nauch.-tehn. konf. prof.-prep. sostava SPbGJeTU «LJeTI». - SPb., 2012. - S. 102-106.

10. Ermakov A. V. Ispol'zovanie setevogo skanera dlja povyshenija zashhishhennosti korporativnoj informacionno-vychislitel'noj seti / A. V. Ermakov. - M., 2001. - 16 s. (Preprint / Institut prikladnoj matematiki im. M. V. Keldysha RAN; № 61).

Рецензія/Peer review : 13.10.2017 р. Надрукована/Printed :26.01.2018 р.
Рецензент: д.т.н. проф. Сорокатий Р.В.

УДК 621.391 160164

Ю.П. КЛЬОЦ, Ю.В. ВОЙТКОВ, В.М. СТЕЦЮК, Є.С. ШАХОВАЛ
Хмельницький національний університет

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ВИВЧЕННЯ СЛІВ ІНОЗЕМНИХ МОВ

Метод дозволяє забезпечити збільшення продуктивності роботи програмних засобів, що використовують для інтенсивного вивчення слів іноземної мови, шляхом зменшення об'єму цього програмного забезпечення. Це дозволить розширити доступність в плані технічної частини, так як більшість пристроїв зможуть підтримувати використання тієї системи, а онлайн ресурси будуть ефективніше працювати. Також модифіковано існуючий метод мнемотехніки таким чином, щоб дати можливість використовувати не тільки чорно-білі, але і кольорові образи.

Ключові слова: слова іноземних мов, продуктивність роботи програмного забезпечення, онлайн ресурси, метод мнемотехніки.

Y. KLOTS, Y.VOYTKOV, V. STECIUK, E. SHAHOVAL
Khmelnytskyi National University

METHOD OF GROWTH OF PRODUCTIVITY OF THE USE OF SOFTWARE FOR STUDY OF FORMS OF FOREIGN LANGUAGES

The possibilities of using Internet resources are enormous. The global Internet network creates the conditions for obtaining any necessary information for pupils and teachers located anywhere in the world: regional studies material, news on youth life, articles from newspapers and magazines, necessary literature, etc. And since the basis of each language is a vocabulary, there is a need for the effectiveness of its content. The method allows for more productive work of software tools used for intensive study of words of a foreign language by reducing the volume of this software, therefore, it will expand the availability of the technical part, as most devices will be able to support the use of the system, and online resources will work more efficiently. The object of the developed topic is the technology of software systems used for intensive study of the words of a foreign language, and in the second place, the subject is programmed methods that will increase the intensity of the process of learning the words of a foreign language. Smartphones with low maintenance rates may not support or support but do not fit the amount of information that carries the app with a large amount of media data in it. And such users are forced to use more simple applications, neglecting the effectiveness of the result. Also modified the existing method of mnemonics, so as to enable users used not only black and white images to remember the words, but the color images. In the light of existing approaches and methods for learning a foreign language, it can be noted that in the world there is a lot of analogues that help to learn foreign languages, but how much good result they give? Because users using such services do not all achieve the desired result. Consequently, the result is a method that will give an opportunity minimization of the software resources for the study of foreign languages, while not reducing the effectiveness of the results of the use of this system, and to increase the audience of users that want to study the words of a foreign language.

Keywords: words of foreign languages, productivity of work of software, software resources, online resources, method of mnemotechnology.

Вступ. Можливості використання інтернет-ресурсів стали дуже поширеними. Глобальна мережа Інтернет створює умови для отримання будь-якої необхідної інформації, учням, працівникам що знаходиться в будь-якій точці земної кулі: країнознавчий матеріал, новини з життя молоді, статті з газет і журналів, необхідну літературу і т.д. Відомі програмні засоби вивчення іноземних мов використовують різні методики, технології, з вивчення іноземних мов, але відомо, що основою будь-якої мови є слова, та діалекти, без яких читати та розуміти мову взагалі не вдасться. Тому метою є підвищення продуктивності вивчення слів іноземної мови використовуючи програмні засоби.

В наш час існує маса методів вивчення слів іноземної мови, що використовуються у різних сучасних додатках, які дають можливість вивчення іноземних мов. Вони автоматизували процес вивчення слів, і тепер не потрібно виписувати у блокнот ці слова, зараз кожен може мати доступ будь-де, за допомогою доступу до глобальної мережі за допомогою використання найпопулярніших програмних систем із вивчення іноземних мов, що використовуються дедалі частіше, особливо тими людьми хто має вже базову освіту, і немає часу на активне вивчення із репетиторами та і не маючи в цьому гострої потреба, вивчаючи потрібну інформацію у зручному для себе форматі та місці.

Процес вивчення слів іноземної мови ,зокрема організований у такому розділі додатків, як словник. Це вже не ті словники які містили лише значення, транскрипцію та переклад, вони поглиблені і удосконалені медіа даними такими, як зображення та аудіо, що зберігаються у базі даних додатка та впливають на об'єм пам'яті, що він буде займати.

З цього випливає проблема того, що смартфони із низькими показниками технічного забезпечення можуть не підтримувати, або підтримувати але не вмістити той об'єм інформації, що несе в собі додаток із великою кількістю медіа даних у ньому. І такі користувачі змушені використовувати більш простіші додатки, нехтуючи ефективністю бажаного результату.

Системи запам'ятовування мнемотехнікою. Проаналізувавши відомі додатки, що включають в себе вивчення слів іноземної мови, можна зазначити, що існують, застарілі програмні системи, які використовують стандартний метод заповнення словника, та завчання шляхом повторення слів, та сучасні додатки, що використовують новітні методики вивчення слів іноземної мови, такі додатки як правило є об'ємними за розміром у пам'яті тому, що у них у словнику додано не тільки значення слів та переклад, але

і асоціативні зображення, або аудіо вимова слова, вони використовують: картки зі словами, тестування із вибіркою по перекладу слова, або із вибіркою по картинках. В технічному забезпеченні смартфона може не вистачати достатньо пам'яті, чи якщо це онлайн використання, і у користувача буде повільний інтернет, тому це може відігравати важливу роль у використанні такого додатку.

Після аналізу, можна зазначити, що було б доречним покращити продуктивність роботи програмних систем, що допомагають вивчати слова іноземних мов, зменшивши об'єм програмних систем не втрачаючи продуктивності самого процесу вивчення слів, тому у цьому випадку було прийнято рішення обрати систему мнемотехніки [1, 2].

Мозок запам'ятовує образи, що виникають в голові, та зв'язки між декількома образами. Він є генератором інформації. Процес генерації здійснюється за зафіксованими зв'язками при наявності відповідних стимулів. Без стимуляції мозок не може створювати інформацію. Ізоляція органів почуттів (сенсорна депривація) веде до «зависання» пам'яті і до розладу діяльності всього мозку.

Чим частіше викликається в голові та чи інша реакція за допомогою відповідного стимулу, тим сильніше закріплюється даний зв'язок. В той же час, зв'язки можуть замінюватися (перезаписуватися). Існують природні асоціації (зв'язки, реально існуючі між об'єктами, що сприймаються). Завдяки тому, що зв'язки ці вже існують, мозок запам'ятовує їх автоматично.

Основою методу підвищення продуктивності використання програмних засобів по вивченню слів іноземних мов є системи запам'ятовування мнемотехнікою, що включає в себе набір образів, що є ключовими елементами цієї системи.

Система мнемотехніки складається із чотирьох етапів [3, 4] (рис. 1):

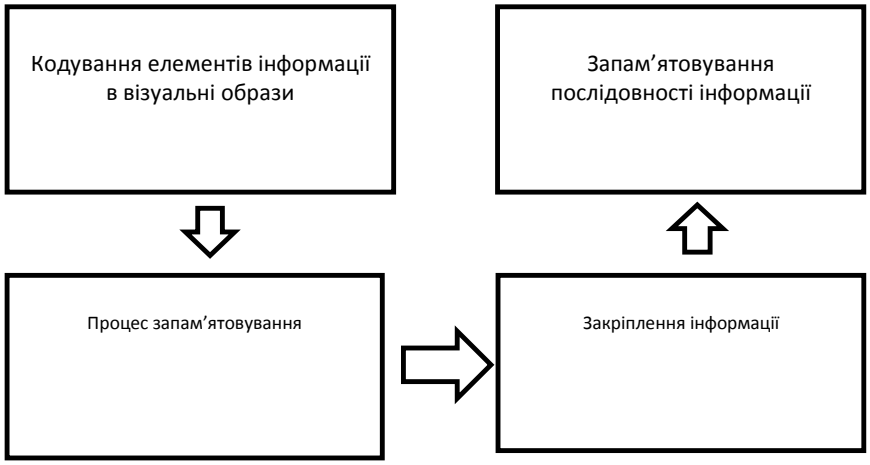


Рис. 1. Етапи системи запам'ятовування

Кодування елементів інформації в візуальні образи.

Для кодування розрізняють такі прийоми:

1. Слово-образ. Для слів-понять, таких як олівець, портфель, телевізор та інше, використовуються ті образи, які виникають у під час пригадування цих слів.

2. Прийом символізації. Застосовується для перетворення в зорові образи абстрактних слів. Абстрактне слово - це слово, яке не має фіксованого образного значення.

Знак перекладається в образ дуже просто. Кожну частину знака необхідно представити у вигляді об'ємного образу. Якщо знак складний, його слід розібрати на елементи і кожен елемент у вигляді об'ємного образу.

Завчання абетки полягає в запам'ятовуванні поєднань "знак + звук". Після перетворення в образи і звучання і написання знака просто запам'ятати їх зв'язок.

Це робиться в уяві безпосередньо: образ, що позначає звук з'єднується з образами, які позначають написання. Утворені асоціації запам'ятовуються будь-яким методом запам'ятовування послідовності образів (рис. 2).

Термін образні коди – це зручні для запам'ятовування зорові образи, що позначаються часто повторюваними елементами інформації. Образні коди дорівнюють фонетичні образні коди. Суть полягає в тому, що для конкретного звуку створюється свій образ і вже до образу-значенням приєднується фонетичний образ для читання. Поки це може здатися складним і заплутаним, але, перейшовши до практики, ви зрозумієте, що це досить просто і логічно.

Запам'ятовування послідовності інформації.

Читаючи текст, буде формуватися список нових слів (або словосполучень) з контекстним значенням, потім вчити його. Після цього, якщо в послідовності зустрінеться це ж слово, але з іншим змістом, то потрібно просто його запам'ятати як рядове, створюючи новий зв'язок.

Під опорним образом пов'язується саме значення, а не вимова. Якщо ж у виникне необхідність запам'ятати саме кілька значень поспіль за допомогою мнемотехніки, то вихід простий. Є прийоми, під назвами «ланцюжок» і «матрьошка». Першим, пов'язуються образи значення послідовно один з одним.

Потім на перший образ накладається вимова. Якщо ж в інших значеннях вимова якось змінюється, то вносяться зміни. Потім просто поєднується перший образ з послідовності з опорним образом. Автор рекомендує пов'язувати в один ряд з 2-5 слів, щоб вони гарантовано не затерлися.

Рис. 2. Процес кодування

Зрозуміло, що в мозку немає голографічного пластини. Її роль виконує кора головного мозку. І в мозку складаються не світлові хвилі, а електричні імпульси нервових клітин (вони відрізняються один від одного частотою і фазою – часом початку імпульсації). Тому процеси, що відбуваються в мозку при запам'ятовуванні, фахівці називають квазіголографічними, тобто подібними світловій голографії.

Використовуючи голографічний принцип запису, на одній «пластині» можна записати величезна кількість зображень. Для цього необхідно поєднувати кожне нове зображення з різними опорними (прочитуючими) частотами.

Для зчитування зображень з голограми необхідно послідовно сканувати тими опорними частотами, на яких відбувався запис.

Для людського мозку опорними частотами є будь-які сприймаються образи. Якщо людина бачить кілька з'єднаних образів, тоді це починає записуватися в мозок як одна «голограма» [5] (рис. 3).

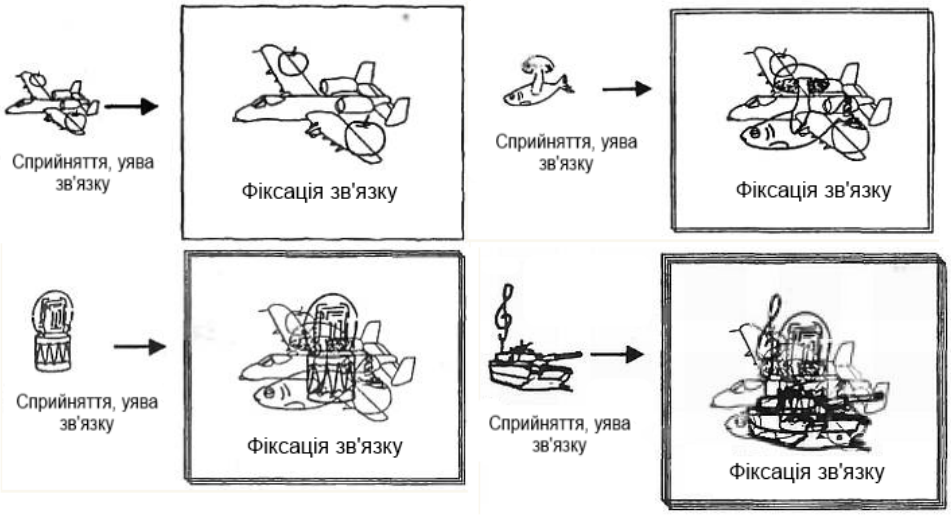


Рис. 3. Приклад створення графічної голограми

Таким чином, людина що будуватиме голограму в своїй уяві буде по черзі додавати нові образи накладаючи їх один на одного.

Для того, щоб послідовно переглянути записані в мозок картинки, його необхідно «просканувати» опорними частотами, тобто опорними образами. Заздалегідь сформована чітка послідовність опорних образів дозволяє послідовно переглядати записану в мозок інформацію.

Модель опорного образа. Опорний образ являє собою певне зображення, яке користувач може обрати для встановлення асоціації із вибраним словом, що знаходиться у списку слів.

Для математичного представлення опорного образу використовуватимемо матрицю пікселів зображення $M_h = [O]$, кожен елемент якої o_{ij} позначатиме колір пікселя. Таким чином:

$$O = \begin{bmatrix} o_{11} & o_{12} & \dots & o_{1w} \\ o_{21} & o_{22} & \dots & o_{2w} \\ o_{h1} & o_{h2} & \dots & o_{hw} \end{bmatrix} \quad (1)$$

де w – ширина зображення в пікселях,

h – висота зображення в пікселях,

p_{ij} – трикомпонентний вектор, який описує колір пікселя за складовими RGB моделі з координатами $i = \overline{1,h}$, $j = \overline{1,w}$.

Модель RGB є адитивною кольоровою моделлю, тобто, колір формується шляхом накладання світла у вигляді: червоного, зеленого та синього кольору.

$$O_{ij} = \left[r_{ij}, \quad g_{ij}, \quad b_{ij} \right] \tag{2}$$

де r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} – це значення яскравості відповідних компонент кольору пікселя, червоної, зеленої та синьої.

Модель голограми. Голограма являє собою певне зображення, що включає поєднання множину опорних образів B^n.

Для математичного представлення голограми використовуватимемо матрицю пікселів так як це зображення $M_{mn} = [G]$, кожен елемент якої g_{ij} позначатиме пікселя. Таким чином:

$$G = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \cdots & g_{1n} \\ g_{21} & g_{22} \cdots & g_{2n} \\ g_{m1} & g_{m2} \cdots & g_{mn} \end{bmatrix} \tag{3}$$

де n – ширина зображення в пікселях,

m – висота зображення в пікселях,

g_{ij} – трикомпонентний вектор, який описує пікселя.

Модель перетворення образів в голограму. Процес перетворення образів в голограму представляє собою, накладення опорних образів одне на одного. Математичне представлення моделі перетворення образів в голограми потребує опису функції M, що організовує правильне накладання пікселів різних образів з урахуванням їх RGB заливки.

$$M = \langle O_1, \ O_2, \ O_3, \ O_4, \ O_5, \ G, \ x_1 y_1, \ x_2 y_2, \ \ldots \ , x_5 y_5 \rangle \tag{4}$$

$$G_{ij}^{color} = \max\left(O_{1ij}^{color}, \ O_{2ij}^{color}, \ O_{3ij}^{color}, \ O_{4ij}^{color}, \ O_{5ij}^{color} \right) \tag{5}$$

де G – голограма, O_i – набір образів,

$x_i y_j$ – дані про розміри образів,

O_{kij}^{color} – значення кольору пікселя.

Таким чином в результаті частина програмної системи, що відповідає за розподілу ресурсів у програмній системі, набула подальшого розвитку, що вплине на зберігання опису слів, шляхом підходу до ефективного збереження зображень(рис. 4).

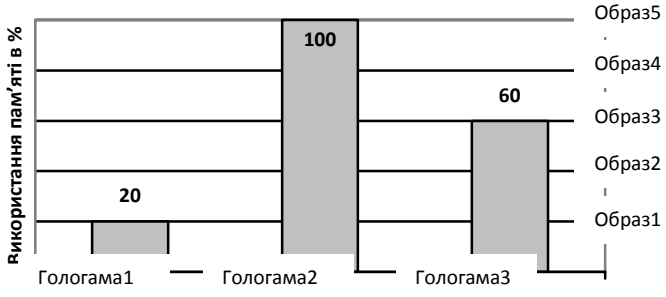


Рис. 4. Діаграма відносності медіа даних до об'єму даних

В свою чергу система мнемотехніки, що заснована на чорно-білих образах, набула подальшого розвитку в частині використання кольорових образів. Також можна зауважити, що використання мнемотехнічної конструкції дозволить зменшити об'єм інформації, що буде витрачати додаток на збереження об'ємних файлів, скоротивши затрати на збереження окремих зображень, що виступали б, як асоціації із словом, таким чином, що при вивченні певної послідовності слів буде зберігатись у пам'яті одне зображення у вигляді голограми, що вмістить в собі декілька зображень накладених одне на одного у певній послідовності, цим поєднавши їх для більш кращого запам'ятовування.

Тобто продуктивність прямо пропорційно збільшиться затратам пам'яті на зберігання медіа-даних у

програмній системі, таким чином зберігавши раніше одне зображення до одного слова, продуктивність була один до одного, а при методі зберігання голограми, продуктивність збільшиться у відповідності тої кількості злів скільки користувач об'єднає в одну голограму, це відповідно, два, три, чотири або п'ять зображень до однієї послідовності слів, що представляє собою один рядок тексту (рис. 5).

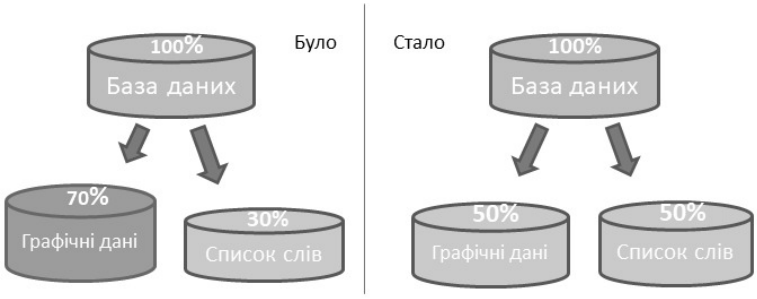


Рис. 5. Результати роботи методу

Висновки

Набув подальшого розвитку метод використання ресурсів програмної системи по вивченню іноземної мови, а саме у розділі словник, що дає змогу збільшити аудиторію, що зможе більш ефективно вивчати інформацію, а також розширить доступність в плані технічної частини, так як більшість пристроїв зможуть підтримувати використання тієї системи, а онлайн ресурси ефективніше працювати. Це дасть можливість людям, що використовують не дуже потужні смартфони чи проживають у місцевостях де сигнал мережі Інтернет є не досить потужним, покращувати свій рівень знань іноземних слів не втрачаючи ефективності їх вивчення. Також модифіковано існуючий метод мнемотехніки, таким чином щоб дати можливість використовувати не тільки чорно-білі образи, але і кольорові образи.

Тобто результатом є мінімізація затрат ресурсів програмного забезпечення по вивченню іноземних мов, при чому не зменшивши ефективності результатів використання цієї системи.

Література

1. «Мнемотехника» и «изучение иностранного языка» несовместимые понятия?! Давайте разберемся [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://habrahabr.ru/post/156599/ – (Дата звернення 10.10.2017).

2. Библиотека [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://litresp.ru/chitat/ru/З/ziganov-marat-aleksandrovich/tehnika-zapominaniya-inostrannih-slov/2 – (Дата звернення 26.10.2017).

3. Каптеленин В. Н. Экспериментальные исследования зрительного восприятия слов / В. Н. Каптеленин // Вопросы психологии. – 1983 (1). – С. 147–152.

4. Гридина Т.А. Ассоциативный потенциал слова и его реализация в речи (явление языковой игры) / Т.А. Гридина АДД. – М., 1996.

5. Kwary D. A. Adaptive Hypermedia and User-Oriented Data for Online Dictionaries: A Case Study on an English Dictionary of Finance for Indonesian Students / D. A. Kwary // International Journal of Lexicography. – 2012. – Vol. 25. – Issue 1 (March).

References

1. «Mnemotehnika» i «izuchenie inostrannogo yazyika» nesovmestimyie ponyatiya?! Davayte razberemsya [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu : https://habrahabr.ru/post/156599/ – (Data zvernennya 10.10.2017).

2. Biblioteka [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu : http://litresp.ru/chitat/ru/Z/ziganov-marat-aleksandrovich/tehnika-zapominaniya-inostrannih-slov/2 – (Data zvernennya 26.10.2017).

3. Kaptelenin V. N. Eksperimentalnyie issledovaniya zritelnogo vospriyatiya slov / V. N. Kaptelenin // Voprosyi psihologii. – 1983 (1). – S. 147–152.

4. Gridina T.A. Assotsiativnyiy potentsial slova i ego realizatsiya v rechi (yavlenie yazyikovoy igryi) / T.A. Gridina ADD. – M., 1996.

5. Kwary D. A. Adaptive Hypermedia and User-Oriented Data for Online Dictionaries: A Case Study on an English Dictionary of Finance for Indonesian Students / D. A. Kwary // International Journal of Lexicography. – 2012. – Vol. 25. – Issue 1 (March).

Рецензія/Peer review : 08.11.2017 р. Надрукована/Printed :25.01.2018 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК 004.896

В.В. ЛАВРІНЧУК, В.М. ЧЕШУН, В.І. ЧОРНЕНЬКИЙ
Хмельницький національний університет

ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ НЕЙРОМЕРЕЖНОЇ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ СИМВОЛІВ НОМЕРНИХ ЗНАКІВ

В роботі запропоновано алгоритмічні, функціональні та структурні рішення для побудови економічної та високопродуктивної системи автоматизованого розпізнавання номерних знаків автомобільного транспорту, що досягається за рахунок використання в її складі реалізованої апаратно на програмованих логічних інтегральних схемах тришарової штучної нейронної мережі прямого поширення, орієнтованої на виконання функцій розпізнавання символів номерного знаку за сегментами зображень фіксованої розмірності.

Ключові слова: система розпізнавання символів, номерні знаки, штучні нейронні мережі, програмовані логічні інтегральні схеми.

V. V. LAVRINCHUK, V. M. CHESHUN, V. I. CHORNENKYI
Khmelnytskyi National University

ORGANIZATION OF THE CHARACTER RECOGNITION SYSTEM IN LICENSE PLATES WITH AN APPLICATION OF AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Due to the constant increase in the number of cars on the roads in Ukraine, the problem of automation in control and maintenance of traffic participants is exacerbated. In the article the peculiarities of existing systems and methods of license plates recognition are analyzed, their main advantages and disadvantages are determined. Execution of a character recognition operation by the program reduces system performance or requires the use of expensive computing systems. To create a high-performance recognition system, it is proposed to use the hardware-implemented artificial neural network. The basis of the system is a three-layer artificial neural network of direct passage, which is implemented on programmable logic integrated circuits and performs the functions of recognizing license plate characters from fixed-size image segments. Allocation of a license plate in a photograph and segmentation are carried out by traditional methods. Converting the selected segments to the desired size is implemented before the character recognition operation. The neural network receives a binary vector, in which each bit corresponds to one pixel of the image segment. The article substantiates the choice of the size of the segments and proposes an algorithm, functional and structural solutions for building an improved system of automatic identification of license plates. The method of error propagation is used to calculate the parameters of the artificial neural network. The simulation of the system yielded 96.81% of the true recognition results. The given solutions are the basis for the hardware implementation of the artificial neural network on programmable logic integrated circuits, which should provide the possibility of creating a high-performance recognition system at a moderate cost.

Key words: character recognition system, license plates, artificial neural networks, programmable logic integrated circuits.

Вступ

Характерною тенденцією розвитку автомобільної індустрії світу є постійне вдосконалення моделей автомобілів і збільшення їх випуску. Передумовою постійного зростання кількості автомобілів є збільшення попиту на засоби швидкого пересування в стрімкому ритмі сучасного життя на фоні вдосконалення, урізноманітнення і зменшення вартості транспортних засобів.

Хоча Україна і не входить до числа країн, де новий автомобіль є загальнодоступним за фінансовим критерієм для більшості населення, і потреба в індивідуальному транспорті залишається актуальною, та вже на сьогоднішній день засоби інформації переповнені повідомленнями про колапси та безлад на транспортних магістралях країни. Проведення реформ економіки України, що має за мету збільшення платіжної спроможності і рівня життя населення, та наближення до стандартів Європейського союзу з поступовим зменшенням податків на ввезення транспортних засобів неминуче призведуть до стрибкоподібного зростання кількості учасників дорожнього руху і користувачів супровідних сервісних послуг. Вирішення вже наявних проблем і попередження майбутніх в сучасних умовах в будь-якій країні неможливе без застосування автоматизованих систем контролю і обслуговування [1].

Незважаючи на постійні наголоси на актуальності застосування засобів автоматизованого контролю за транспортними засобами, Україна на сьогодні неспроможна ефективно вирішити завдання широкомасштабного їх впровадження через високу вартість систем закордонного виробництва і відсутність якісних систем у серійному випуску власної промисловості, що робить актуальним їх створення і виробництво.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Першочергово, при реалізації функцій САРНЗ використовуються різні типи характеристик номерного знаку для виявлення його області знаходження на фоні зображення.

Як базис для виявлення номерних знаків використовується колір [2] або геометричний характер номерних знаків [3]. Проте, ці методи не дуже надійні через складнощі реалізації в реальному середовищі, оскільки бажаний колір фону номерного знаку може бути відсутнім або спотворений забрудненнями, а пластина знаку на зображенні може набути не прямокутної форми через зміну кута знаходження транспортного засобу в русі відносно засобів фіксації зображень або пошкодження самої пластини.

Більш надійними є методи, які базуються на аналізі текстури номерних знаків. Зокрема, методи, що використовують вертикальні краї, як правило, конвертують зображення в напівтонове і вираховують вертикальний градієнт, а потім застосовують фільтр отриманих результатів для вибору зони з найвищими вертикальними краями [4].

Для виконання сегментації символів також використовується запропоновані різні підходи [5–7].

Загальними підходами для сегментації символів є вертикальна і горизонтальна проекція [5, 6], що базуються на виявленні наявних між символами проміжків. Основною проблемою застосування цього підходу є можливе відхилення номерного знаку і символів на ньому від горизонтальної осі на зображенні через недосконалі умови його фіксації. Ця проблема вирішується за допомогою корекції обертання із застосуванням перетворення Хафа [7]. Проте, цей метод має набагато більшу складність обчислень і зумовлює більші вимоги щодо ресурсів застосовуваних засобів сегментації.

Одним із найбільш ефективних для сегментації є метод аналізу приєднаного компонента (Connected Component Analysis) [8], що передбачає фіксацію обраного фрагменту зображення і приєднання до нього всіх сусідніх пікселів, що мають аналогічне або вище значення тонової насиченості.

Завершальний етап обробки зображення реалізують системи розпізнавання символів (СРС), робота яких також базується на різних підходах [9–11].

Алгоритмічна реалізація розпізнавання, що використовується в СРС, зазвичай складається з двох етапів: виявлення особливостей і класифікації сегментів зображень [4, 10, 12]. При класифікації сегментів зображень широко використовуються статистичні дані щодо ймовірностей входження символів в номерний знак або статистичні моделі. За умови, що існують чітко визначені статистичні моделі, класифікація СРС може бути віднесена до статистичних методів класифікації або до методів класифікації машин [10].

Інші методи класифікації, як правило, забезпечують ефективність роботи СРС за рахунок виявлення і аналізу особливостей отриманих зображень символів, що відрізняють їх від базових математичних моделей.

Принципи дії СРС базуються на використанні апарату машин векторної підтримки [11, 13], прихованих моделей Маркова [14, 15, 16], співставлення шаблонів [17, 18], теорії штучних нейронних мереж [19] тощо.

Постановка проблеми

Більшість розглянутих варіантів СРС реалізується програмно і передбачають виконання заданих алгоритмів класифікації типовими універсальними обчислювальними системами різної продуктивності. Недоліком такої реалізації СРС є значні втрати часу на покрокову обробку і виконання інструкцій програмного коду, що призводить до значних втрат часу і зменшення продуктивності СРС. Застосування для реалізації алгоритмів обчислень високопродуктивних універсальних систем великої потужності при широкомасштабному використанні САРНЗ потребує занадто великих вкладень коштів на всіх етапах.

Отримати САРНЗ і високою продуктивністю, яка буде здатною оперативно розпізнавати номерні знаки транспортних засобів в реальному масштабі часу, можна за умови повної апаратної реалізації СРС. Найперспективнішим варіантом СРС, на думку авторів, є її реалізація у вигляді штучної нейронної мережі (ШНМ) з подальшою апаратною реалізацією на програмованих логічних інтегральних схемах (ПЛІС).

Для вирішення завдання ефективної реалізації СРС на основі ШНМ з апаратною реалізацією на ПЛІС необхідно визначити задачі і умови застосування створюваної СРС, а також обрати варіант її реалізації , що буде задовольняти потребам за продуктивністю, якістю безпомилкової роботи та ціною.

Результати досліджень

При застосуванні ШНМ в СРС при обробці символьних сегментів отриманих зображень з'являється можливість використовувати всі значення пікселів сегменту безпосередньо в якості вхідних даних та реалізовувати їх паралельну обробку в процесі ідентифікації символу.

Беручи до уваги те, що номерні знаки на зображеннях і отримувані з них символьні сегменти можуть мати різні розміри, а ШНМ в її апаратній реалізації характеризується фіксованою розмірністю та має обмеження за кількістю оброблюваних одночасно вхідних сигналів, першочерговою стає проблема узгодження масштабного представлення сегментів символів, що входять в операцію розпізнавання проектованою СРС, з можливостями застосовуваної ШНМ щодо обробки вхідних даних.

Проведені авторами дослідження показали, що перспективним для розпізнавання символів із застосування СРС на основі ШНМ є представлення сегментів у варіанті 21x9 пікселів, оскільки розпізнавання зображень з меншою деталізацією призведе до збільшення помилок через втрату зображеннями символів характерних ознак, а збільшення деталізації зумовлює потребу у використанні складнішої ШНМ.

З урахуванням потреби масштабування сегментів символів до обраного варіанту представлення у варіанті 21x9 пікселів, можна сформувати загальні положення алгоритму роботи САРНЗ із застосуванням проектованої СРС на основі ШНМ.

Алгоритм 1.

1.1. Отримання зображення з фіксуючої камери;

1.2. Передача зображення в систему виявлення номерного знаку;

1.3. Локалізація зони номерного знаку на зображенні;

1.4. Якщо операція локалізації зони номерного знаку на зображенні виявилась невдалою (номерних знаків на зображенні не виявлено), перехід до п.1.1;

1.5. Виділення фрагменту з номерним знаком з початкового зображення;

1.6. Формування чорно-білого зображення номерного знаку;

1.7. Передача виділеного фрагменту з номерним знаком системі сегментації;

1.8. Взаємне відокремлення сегментів символів на зображенні;

1.9. Якщо операція відокремлення завершилася вдало, перехід до п.1.13;

1.10. Фіксація помилки сегментації;
1.11. Передача зображення і опису помилки для експертного аналізу;
1.12. Перехід до п.1.1;
1.13. Масштабування отриманих сегментів до представлення 21x9 пікселів;
1.14. Утворення черги з сегментів символів для розпізнавання (в порядку розміщення сегментів на полі номерного знаку);
1.15. Передача першого в черзі сегмента символу на СРС у вигляді вектора бінарного опису стану пікселів чорно-білого зображення цього сегмента (0 для пікселів білого кольору, 1 – чорного);
1.16. Зчитування коду ідентифікації символу з СРС;
1.17. Виключення сегмента розпізнаного символу з черги на розпізнавання;
1.18. Якщо в черзі на розпізнавання є ще символи, перехід до п.1.15;
1.19. Визначення набору символів номерного знаку за отриманими кодами їх ідентифікації;
1.20. Формування символьного представлення номера транспортного засобу з розпізнаних символів;
1.21. Передача опису розпізнаного номера для подальшої обробки;
1.22. Кінець алгоритму

Відповідно до наведеного алгоритму, призначенням СРС в складі САРНЗ є послідовне розпізнавання символів номерного знаку за векторами бінарного опису стану пікселів чорно-білого зображення кожного символьного сегмента. Вектор опису одного сегмента подається на СРС в паралельному форматі і обробляється ШНМ по всіх розрядах одночасно, результатом чого має бути формування на виходах ШНМ коду ідентифікованого символу. Вектори опису різних сегментів подаються на СРС послідовно в порядку, який відповідає порядку їх розміщення на пластині номерного знаку, що забезпечує упорядковане формування на виходах ШНМ кодів ідентифікації всіх символів номерного знаку в природній послідовності їх зчитування.

За основу для реалізації СРС обрано тришарову ШНМ прямого поширення, прототипом якої є нейромережна модель декодера кодів Хеммінга з повною апаратною реалізацією [20]. Вибір ґрунтується на ствердженні, що тришарова мережа з прямим з'єднанням нейронів і принаймні одним прихованим шаром здатна моделювати будь-які системи будь-якого ступеня складності [21].

Для формування структури ШНМ потрібно визначити кількість нейронів у кожному її шарі.

Кількість нейронів першого шару визначається кількістю вхідних сигналів, що підлягають подальшій обробці. Вхідними сигналами ШНМ СРС є вектори бінарного опису стану пікселів аналізованого символьного сегмента. Сегменти представляються чорно-білим зображенням розмірності 21x9 пікселів, опис формується за принципом біт на піксель, тому зображення буде описуватись двійковим словом з 189 біт, що зумовлює потребу у відповідній кількості нейронів вхідного шару ШНМ.

Кількість нейронів другого шару обрано експериментально. В експерименті застосовано 386 зображень номерних знаків, з яких 290 використовувались в якості даних для навчання ШНМ, а інші 96 – в якості дослідних зразків при апробації системи. В ході експерименту була протестована ефективність роботи мережі при різній кількості вузлів в другому шарі. Значення кількості вузлів для другого шару обиралося в діапазоні від 100 до 200 з кроком 20. Експериментальне моделювання роботи ШНМ проводилось із застосуванням пакету Matlab і дублювалося для кожного варіанту реалізації ШНМ щонайменше 10 разів. Усереднені результати експерименту відображені графіком (рис. 1).

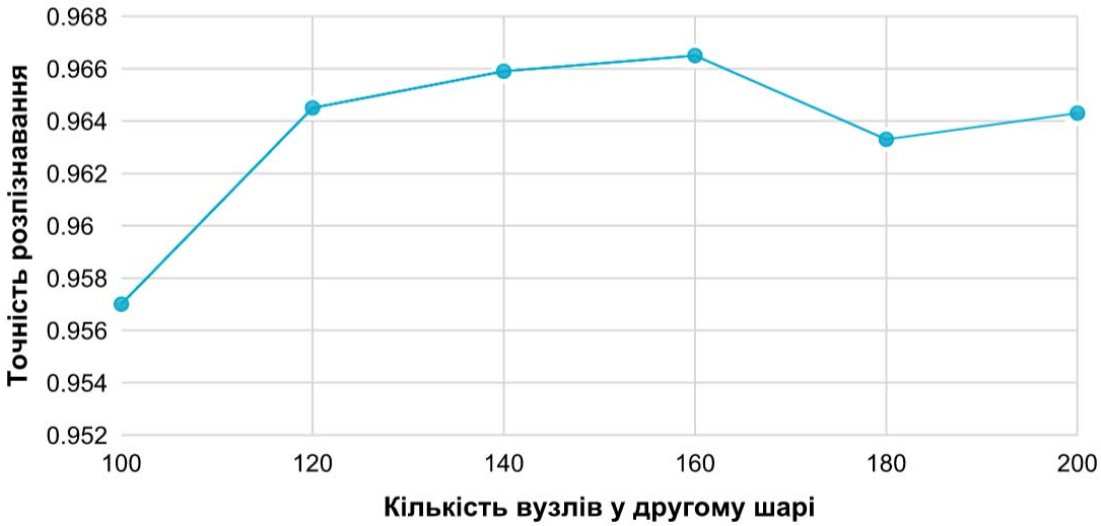


Рис. 1. Залежність ефективності роботи ШНМ від розмірності прихованого шару

Отримані при дослідженні і відображені на графіку результати показують, що точність розпізнавання збільшується з кількістю нейронів у другому шарі і досягає екстремуму при числі нейронів 160, а потім знову зменшується, що і було підставою для вибору відповідної розмірності прихованого шару ШНМ.

Розмірність вихідного шару ШНМ було обмежено застосуванням 36 нейронів, що також стало наслідком експериментальних досліджень.

У відповідності до наведених положень було розроблено структуру тришарової ШНМ прямого поширення з організацією 189-160-36 (рис. 2).

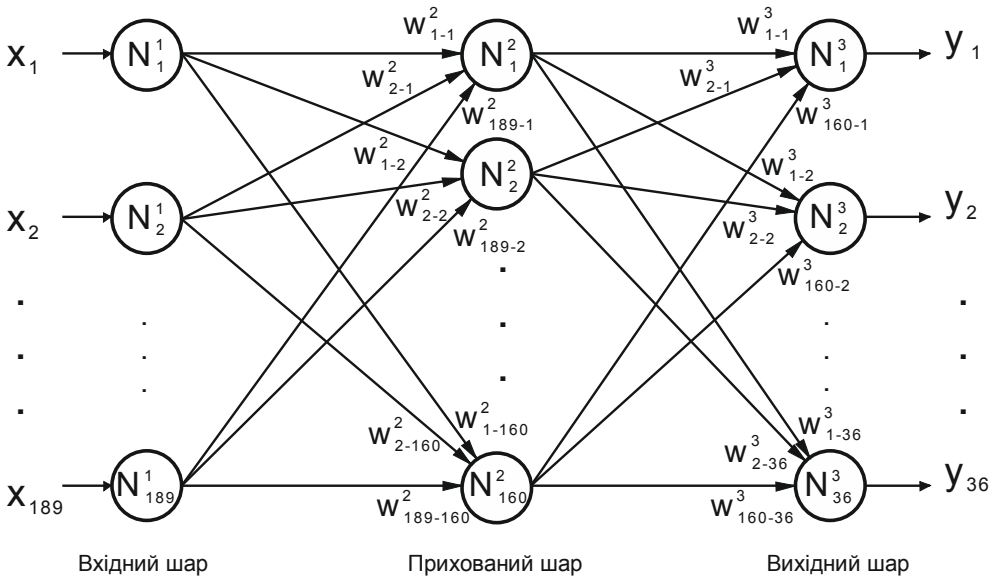


Рис. 2. Структурна організація ШНМ системи оптичного розпізнавання

Кожна вершина (коло), зображене на рис. 2, являє собою штучний нейрон.

Нейрони вхідного шару виконують лише функції підсилення і розповсюдження вхідних сигналів на входи нейронів другого шару.

Нейрони другого і третього шару у багатошаровій нейронній мережі обчислюють зважену ваговими коефіцієнтами суму сигналів з своїх входів, джерелом яких є виходи всіх нейронів з попереднього шару. Вихід нейрона – це зважена сума, що регулюється функцією активації. Загальний стан кожного виходу нейрона описується формулою:

$$act_i^j = f\left(net_i^j\right), \tag{1}$$

де act_i^j – вихід функції активації *i*-го нейрона *j*-го шару; f – функція активації; net_i^j – сума добутків значень вхідних сигналів на вагові коефіцієнти вхідних зв'язків *i*-го нейрона в *j*-му шарі та зміщення зазначеного нейрона. Значення net_i^j, в свою чергу, розраховується за формулою:

$$net_i^j = \sum_{k=1}^{m} act_k^{j-1} w_{k-i}^j + b_i^j, \tag{2}$$

де m – кількість нейронів в (j-1)-му шарі, b_i^j – зміщення *i*-го нейрона в *j*-му шарі, w_{k-i}^j – ваговий коефіцієнт зв'язку між *i*-м нейроном *j*-го шару і виходом *k*-го нейрона попереднього шару.

Для навчання ШНМ застосовано принципи контрольованих алгоритмів із застосуванням порівнюваних пар значень вхід-мета та оціночних функцій. Для оцінки якості навчання застосовано функцію, що є середньою квадратичною функцією помилки:

$$E = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{m}\left(act_i - t_i\right), \tag{3}$$

де E – функція оцінки помилки; m – кількість нейронів у вихідному шарі; act_i – фактичне значення вихідного сигналу *i*-го нейрона вихідного шару; t_i – ідеальне очікуване значення вихідного сигналу *i*-го нейрона вихідного шару.

Функція оцінки відображає різницю між ідеальними та фактичними результатами операції розпізнавання символів нейромережною СРС. Навчання нейронної мережі на основі функцій оцінки – це процес налаштування параметрів нейронної мережі таким чином, щоб реальний результат був найближчим до ідеального варіанту спрацьовування ШНМ на безлічі виконуваних експериментів. Навчання показало, що ШНМ прямого поширення показують найкращу продуктивність в ролі СРС при мінімізації оціночної функції із застосуванням скорегованих значень вагових коефіцієнтів w_{k-i}^{j*}, які отримуються на основі існуючих значень w_{k-i}^j, змінених на крок корекції Δw:

$$E\left(w_{k-i}^{j*}\right)=E\left(w_{k-i}^{j}+\Delta w\right). \quad (4)$$

Використовуючи ряд Тейлора для функції (4) можна отримати:

$$E\left(w_{k-i}^{j}+\Delta w\right)=E\left(w_{k-i}^{j}\right)+\frac{dE}{dw}\Delta w. \quad (5)$$

Щоб мінімізувати E потрібно мінімізувати значення $\frac{dE}{dw}\Delta w$, де $\frac{dE}{dw}$ - градієнт, який є n-вимірним вектором і вказує на напрямок, що робить функцію E зростаючою. Якщо обидва вектори вказують на протилежні напрямки і мають однакову довжину, то скалярний добуток таких векторів буде дуже малим значенням і рівняння потрібно модифікувати до наступного вигляду:

$$\Delta w=-\alpha\frac{dE}{dw}, \quad (6)$$

де α – коефіцієнт контролю кроків навчання.

Застосована техніка навчання ШНМ класифікується як метод зворотного поширення помилки, який вираховує часткові похідні, використовуючи правило ланцюжка.

Етап навчання ШНМ передбачається виконувати як частину процесу проектування СРС, тобто, значення параметрів, необхідних для коректної роботи штучних нейронів мережі, мають бути розраховані програмно і зафіксовані в елементах пам'яті ШНМ під час її настроювання. При експлуатації нейромережне ядро СРС виконує тільки фазу прямого розповсюдження.

Висновки

Запропоновані алгоритм, функціональні та структурні рішення забезпечують можливість побудови вдосконаленої системи автоматизованого розпізнавання номерних знаків автомобільного транспорту з помірною вартістю. Основою системи є реалізована на програмованих логічних інтегральних схемах тришарова штучна нейронна мережа прямого поширення, орієнтована на розпізнавання символів номерного знаку за сегментами зображень з фіксованими розмірами в реальному масштабі часу.

Результати моделювання роботи свідчать про її ефективність і здатність безпомилково розпізнавати 96,81% номерних знаків в реальних умовах рухомого транспортного потоку, що є позитивною характеристикою систем-аналогів високого класу.

Література

1. Дорожній транспорт. Знаки номерні транспортних засобів. Загальні вимоги. Правила застосування : ДСТУ 4278:2012. — [На заміну ДСТУ 4278:2006 ; введ. 2006—4—07]. — К. : Держспоживстандарт України, 2012. — 31 с.

2. Wang K. T. Li T. H. Robust license plate recognition based on dynamic projection warping / K. T. Li T. H. Wang, F. C. Ni, Y. P. Chen // Proceeding of IEEE International Conference on Networks, Sensing, and Control. — 2004. — С. 784–788.

3. Nelson Kennedy Babu C. Robust license plate recognition based on dynamic projection warping / C. Nelson Kennedy Babu, K. Nallaperumal // International Journal on Imaging Science and Engineering. — Issue 2(2). — 2008. — С. 189–194.

4. Wang Shen-Zheng. A cascade framework for a real-time statistical plate-recognition system / Shen-Zheng Wang, Hsi-Jian Lee // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. — Вип. 2(2). — 2007. — С. 267–282.

5. B. Shan. Vehicle license plate recognition based on text-line construction and multilevel rbf neural network // Elsevier Journal of Computing. — Issue 6(2). — 2011. — С. 246–253.

6. Hakan Caner. Efficient embedded neural-network-based license plate recognition system / Hakan Caner, H. Selcuk Gecim, Ali Ziya Alkar // IEEE Transactions on Vehicular Technology. — Issue 57(5). — 2008. — С. 2675–2683.

7. Jing-Ming Guo. License plate localization and character segmentation with feedback self-learning and hybrid binarization techniques // IEEE transactions on vehicular technology. — Issue 57(3). — 2008. — С. 1417–1424.

8. Connected Component Analysis [Електронний ресурс] : College of Engineering / C. A. Bouman // Digital Image Processing. — 2017. — 9 січня. — Режим доступу : https://engineering.purdue.edu/~bouman/ece637/notes/pdf/ConnectComp.pdf — Назва з екрану.

9. Taylor C.C. Machine learning, neural and statistical classification / C.C. Taylor, D. Michie, D. J. Spiegelhalter // Overseas Press. – 1994. - 298p.

10. License plate recognition from still images and video sequences: A survey / I. Psoroulas, V. Loumos, C. Anagnostopoulos, I. Anagnostopoulos, E. Kayafas // IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems. — Issue 9(3). — 2008. — С. 377–391.

11. Park S. H. Support vector machines for texture classification / S. H. Park K. I. Kim, K. Jung, H. J. Kim // IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence. — Issue 24(11). — 2002. — С. 1542–1550.

12. Fa-Liang Chang Zhen-Xue Chen. Automatic license-plate location and recognition based on feature salience / Fa-Liang Chang Zhen-Xue Chen, Cheng-Yun Liu, Guo-You Wang // IEEE Transations on Vehicular Technology. — Issue 58(7). — 2009. — С. 3781–3785.

13. Zhang H. Region-based license plate detection / H. Zhang , W. Jia, X. He // Elsevier Journal on

Network Computing Application. — Issue 30(4). — 2007. — С. 1324–1333.

14. Phuoc T. V. Building an automatic vehicle license plate recognition system / T. V. Phuoc, T.D. Duan, T. L. H. Du, N. V. Hoang // Proceeding of International Conference on Computing Science. — Issue 23(2). — 2005. — С. 59–63.

15. Car license plates extraction and recognition based on connected components analysis and hmm decoding / V. Palazon, D. Llorens, A. Marzal, J. M. Vilar // Chapter on Pattern Recognition and Image Analysis, Volume 3522 of the series Lecture Notes in Computer Science. — 2005. — С. 571–578.

16. Duc D. A. Combining hough transform and contour algorithm for detecting vehicles' license-plates / D. A. Duc T.D. Duan, T.L.H. Du // Proceeding of International Symposium on Intelligent Multimedia Video Speech Process. — 2004. — С. 747–750.

17. Chen S. Y. Extraction and recognition of license plates of motorcycles and vehicles on highways / S. Y. Chen, H. J. Lee, S. Z. Wang // Proceeding of International conference on Pattern Recognition. — 2004. — С. 356–359.

18. Машини векторної підтримки [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.research.ibm.com/haifa/research.shtml.

19. Capar A. Concurrent segmentation and recognition with shape-driven fast marching methods / M. Gokmen, A. Capar // Proceeding of International Conference on Pattern Recognition. — Вип. 1. — 2006. — С. 155–158.

20. Літвіцький Л.О. Функціональні особливості організації декодера перешкодостійких кодів на основі штучних нейронних мереж / Л.О. Літвіцький, В.М. Чешун, В.І. Чорненький // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2015. – № 6 (231). – С. 154–156.

21. Stinchcombe M. Multilayer feedforward networks are universal approximators / M. Stinchcombe, K. Hornik, H. White // Neural Networks conference. — Вип. 2(1). — 2015. — С. 359–366.

References

1. Dorozhnij transport. Znaky` nomerni transportnyx zasobiv. Zagalni vymogy. Pravyla zastosuvannya : DSTU 4278:2012. — [Na zaminu DSTU 4278:2006 ; vved. 2006—4—07]. — K. : Derzhspozhy`vstandart Ukrayiny`, 2012. — 31p.

2. Wang K. T. Li T. H. Robust license plate recognition based on dynamic projection warping / K. T. Li T. H. Wang, F. C. Ni, Y. P. Chen // Proceeding of IEEE International Conference on Networks, Sensing, and Control. — 2004. — P. 784–788.

3. Nelson Kennedy Babu C. Robust license plate recognition based on dynamic projection warping / C. Nelson Kennedy Babu, K. Nallaperumal // International Journal on Imaging Science and Engineering. — Issue. 2(2). — 2008. — P. 189–194.

4. Wang Shen-Zheng. A cascade framework for a real-time statistical plate-recognition system / Shen-Zheng Wang, Hsi-Jian Lee // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. — Issue. 2(2). — 2007. — P. 267–282.

5. B. Shan. Vehicle license plate recognition based on text-line construction and multilevel rbf neural network // Elsevier Journal of Computing. — Issue. 6(2). — 2011. — P. 246 – 253.

6. Hakan Caner. Efficient embedded neural-network-based license plate recognition system / Hakan Caner, H. Selcuk Gecim, Ali Ziya Alkar // IEEE Transactions on Vehicular Technology. — Issue. 57(5). — 2008. — P. 2675–2683.

7. Jing-Ming Guo. License plate localization and character segmentation with feedback self-learning and hybrid binarization techniques // IEEE transactions on vehicular technology. — Issue. 57(3). — 2008. — P. 1417–1424.

8. Connected Component Analysis [Electronic resource] : College of Engineering / Bouman C. A. // Digital Image Processing. — 2017. — 9 sichnya. — Mode of accessdo zhurn. : https://engineering.purdue.edu/~bouman/ece637/notes/pdf/ConnectComp.pdf — Nazva z ekrana.

9. Taylor C.C. Machine learning, neural and statistical classification / C.C. Taylor, D. Michie, D. J. Spiegelhalter // Overseas Press. – 1994. - 298p.

10. License plate recognition from still images and video sequences: A survey / [I. Psoroulas, V. Loumos, C. Anagnostopoulos, I. Anagnostopoulos, E. Kayafas] // IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems. — Issue. 9(3). — 2008. — P. 377–391.

11. Park S. H. Support vector machines for texture classification / S. H. Park K. I. Kim, K. Jung, H. J. Kim // IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence. — Issue. 24(11). — 2002. — P. 1542–1550.

12. Fa-Liang Chang Zhen-Xue Chen. Automatic license-plate location and recognition based on feature salience / Fa-Liang Chang Zhen-Xue Chen, Cheng-Yun Liu, Guo-You Wang // IEEE Transations on Vehicular Technology. — Issue. 58(7). — 2009. — P. 3781 – 3785.

13. Zhang H. Region-based license plate detection / H. Zhang , W. Jia, X. He // Elsevier Journal on Network Computing Application. — Issue. 30(4). — 2007. — P. 1324–1333.

14. Phuoc T. V. Building an automatic vehicle license plate recognition system / [T. V. Phuoc, T.D. Duan, T. L. H. Du, N. V. Hoang] // Proceeding of International Conference on Computing Science. — Issue. 23(2). — 2005. — P. 59 – 63.

15. Car license plates extraction and recognition based on connected components analysis and hmm decoding / [V. Palazon, D. Llorens, A. Marzal, J. M. Vilar] // Chapter on Pattern Recognition and Image Analysis, Volume 3522 of the series Lecture Notes in Computer Science. — 2005. — P. 571–578.

16. Duc D. A. Combining hough transform and contour algorithm for detecting vehicles' license-plates / D. A. Duc T.D. Duan, T.L.H. Du // Proceeding of International Symposium on Intelligent Multimedia Video Speech Process. — 2004. — P. 747–750.

17. Chen S. Y. Extraction and recognition of license plates of motorcycles and vehicles on highways / S. Y. Chen, H. J. Lee, S. Z. Wang // Proceeding of International conference on Pattern Recognition. — 2004. — P. 356–359.

18. Mashyny vektornoyi pidtrymky. URL: https://www.research.ibm.com/haifa/research.shtml.

19. Capar A. Concurrent segmentation and recognition with shape-driven fast marching methods / M. Gokmen, A. Capar // Proceeding of International Conference on Pattern Recognition. — Issue. 1. — 2006. — P. 155–158.

20. Litvitskyi L.O. Funktsionalni osoblyvosti orhanizatsii dekodera pereshkodostiikykh kodiv na osnovi shtuchnykh neironnykh merezh / L.O. Litvitskyi, V.M. Cheshun, V.I. Chornenkyi // Herald of Khmelnytskyi national university, Technical sciences. – Khmelnytskyi: KhNU, 2015. –№ 6 (231). – S. 154–156.

21. Stinchcombe M. Multilayer feedforward networks are universal approximators / M. Stinchcombe, K. Hornik, H. White // Neural Networks conference. — Issue. 2(1). — 2015. — P. 359–366.

Рецензія/Peer review : 10.11.2017 р. Надрукована/Printed :28.01.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Мясіщев О.А.

УДК 004.432

Г.І. РАДЕЛЬЧУК
Хмельницький національний університет

МЕТОДИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ РОБОТИ З КИРИЛИЦЕЮ У КОНСОЛЬНИХ С-ПРОГРАМАХ

В статті проведено комплексне дослідження методів вирішення проблем, які виникають під час опрацювання україномовного тексту у консольних С-програмах. Встановлено, що причиною цих проблем є різні кодові сторінки, які використовуються у середовищах розробки і виконання програм. Розглянуто два підходи до вирішення цих проблем – забезпечення перетворення кодування символів до середовища виконання або зміна кодової сторінки у консольному вікні. На основі проведеного дослідження сформовано рекомендації щодо використання запропонованих засобів для різних версій Microsoft Visual Studio.

***Ключові слова**: консоль, консольна програма, мова програмування С, середовище розробки, кодова сторінка, локалізація, перекодування.*

G.I. RADELCHUK
Khmelnytsky National University

METHODS OF SOLUTION TO THE PROBLEMS OF WORK WITH CYRILLICS IN CONSOLE C-PROGRAMS

The purpose of the article is to study, analyze and systematize methods of solution to the problems with the Ukrainian-language text in console C-programs. The article provides a comprehensive study of methods for solution to the problems that occur during input, output and processing of the Ukrainian-language text in console C-programs, oriented on the development of Microsoft Visual Studio environment in different versions. It is found that the causes of these problems are different code pages used in the development environment (Microsoft Visual Studio) and the program execution environment (console) – 1251 and 866, respectively. Two approaches to the solution to these problems are considered – ensuring the conversion of character encoding to the execution environment, or the change of the code page in the runtime environment (console window). With the first approach, you can save the C-program file in the 866 encoding, which is not expedient. In the second approach, the possibilities of the programming language C and the Windows operating system are analyzed resulting in the suggestion of the means for ensuring the correct elaboration of the Ukrainian-language text: the standard function of the language C – setlocale(); functions WinAPI – SetConsoleCP() and SetConsoleOutputCP(); the system chcp command and the system() function. The mechanisms of the influence of these functions on the input/output streams are described, their advantages and disadvantages are identified, analyzed and experimentally confirmed. The presentation of the material is accompanied by fragments of program codes. On the basis of the study, recommendations for the use of the proposed tools in console C-programs for various versions of the Microsoft Visual Studio development environment were generated.

***Keywords**: console, console program, programming language C, development environment, code page, localization, transcoding.*

Постановка проблеми

Найкращий спосіб почати навчатись програмуванню – це складання консольних програм. Тому на першому курсі при вивченні дисципліни ”Основи програмування” студенти спеціальності ”Інженерія програмного забезпечення” зазвичай створюють саме консольні С-програми, використовуючи середовище програмування Microsoft Visual Studio (MVS) різних безкоштовних версій (2010, 2012, 2013, 2015 або 2017).

Структура консольного проекту максимально спрощена, оскільки немає графічного режиму; окрім цього, консольний режим використовується у випадках, коли основними вимогами до програми є мінімізація часу обчислень та витрат оперативної пам’яті. На підготовку таких програм потрібно менше часу, тому консольний режим зручно використовувати для швидкої перевірки та налагодження окремих алгоритмів.

Консольне вікно ОС Windows є інтерфейсом, який надає операційна система для введення/виведення даних додаткам, які працюють у текстовому режимі, тобто таким, що не мають власного графічного інтерфейсу. С-програми, які створюються на початковому етапі навчання, виконуються у консольному вікні. Вони використовують стандартні функції введення і виведення: **printf()**, **scanf()**, **getchar()** та інші.

Компілюючи у Windows консольні С-програми, користувач (програміст) постійно стикається з проблемою кодувань, а саме: символи кирилиці, на відміну від латиниці, обробляються і виводяться некоректно. Це пов’язано з тим, що в середовищі розробки (MVS) і в середовищі виконання програм (консольне вікно) використовуються дві різні кодові сторінки (*cp – Code Page*) з різними кодами для символів кирилиці. У зв’язку з цим консольні програми повинні вводити/виводити повідомлення лише англійською мовою, що дуже незручно, особливо для студентів-першокурсників, які лише починають вивчати програмування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

На форумах програмістів, кіберфорумах постійно з'являються запитання типу "у мене виводяться кракозябри", "замість тексту – ієрогліфи", "як виводити українською", “не сортуються українські слова” тощо, причому переважно ці питання пов'язані з мовою С/С++. На цих же форумах можна знайти багато порад, але значна частина цих порад далеко не завжди допомагає у вирішенні проблеми.

Хоча кількість книг, пов’язаних з тематикою мови С, обчислюється тисячами найменувань, число джерел, де в якійсь мірі висвітлювалося б вирішення національних особливостей С, дуже обмежена. В публікаціях деяких авторів ([1, 2]) розглядаються питання русифікації консольних С++-додатків, але лише

частково; до того ж, деякі методи, запропоновані авторами, не працюють у консольних С-програмах.

Методи вирішення цих проблем нестандартизовані, тому розв'язання однієї і тієї ж задачі в різних середовищах програмування (і, навіть, в одному середовищі різних версій) вимагає різних підходів.

Таким чином, необхідний комплексний підхід до зазначеної проблеми в цілому – яка інформація і як буде вводитись, як вона буде зберігатися в оперативній пам'яті комп'ютера і оброблятися, як вона буде передаватися, виводитися, яке середовище програмування використовується і які засоби для роботи з різними кодуваннями воно надає тощо. Марно намагатися українізувати введення/виведення "цього рядка, цих даних" без розуміння відповідних механізмів, а також без розуміння того, що буде з цими даними відбуватися надалі.

Отже, **метою статті є:** дослідження, аналіз і систематизація методів вирішення проблем роботи з україномовним текстом у консольних С-програмах з орієнтацією на середовище розробки Microsoft Visual Studio (різних версій), а також надання відповідних рекомендацій тим, хто вивчає програмування мовою С.

Виклад основного матеріалу

При написанні консольних С-програм рядки, що містять символи кирилиці, можуть зустрічатися в двох різних кодуваннях у наступних випадках: у вихідних текстах програм (у вигляді символьних і текстових літералів); при виведенні на консоль; при введенні з консолі; при виведенні у файл; при введенні з файла.

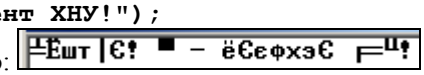
Основне правило при роботі з національними алфавітами: усі рядки повинні бути в єдиному кодуванні. При недотриманні цього правила неможливо порівнювати та сортувати рядки (і символи), а також, як було вже зазначено, введення/виведення рядків на консоль або у файл буде некоректним.

Хоча вже давно розроблений єдиний стандарт кодування – Unicode, ОС Windows і досі використовує кодову сторінку Windows-1251. І при створенні С-проекту у MVS цей стандарт кодування успадковується проектом (а, отже, і програмою). У свою чергу, консольні програми виконуються у консольних вікнах, де ні Unicode, ні UTF-8, ні мультибайтові рядки безпосередньо не підтримуються, а використовується лише кодова сторінка ср866 (ASCII). Таким чином, утворюється "ланцюжок", у якому фігурують дві різні кодові сторінки:

середовище розробки –> текст програми – > програма – > середовище виконання –> екран (консоль)

У ср1251 і ср866 для символів кирилиці виділені різні діапазони кодів, отже, програма, створена із застосуванням ср1251, буде виводити замість символів кирилиці символи ср866, що мають ті ж коди, що і символи кирилиці у ср1251. Так, наприклад, в результаті виконання оператора:

```
printf("Привіт! Я - студент ХНУ!");
```

у консольному вікні буде виведено: 

Таким чином, програма передає коди символів стандарту ср1251; командний рядок приймає ці коди і переводить їх у символи, але вже за стандартом ср866 (тобто здійснюється динамічне перекодування)**,** бо іншого стандарту не знає. У результаті символи кирилиці, передані у консоль, інтерпретуються невірно.

Для того, щоб консольна С-програма "розуміла" кирилицю, потрібно забезпечити перетворення кодування символів до середовища виконання або "змусити" командний рядок Windows повертати текст у кодуванні ср1251 замість ср866.

При першому підході для забезпечення перетворення кодування символів до середовища виконання можна зберегти файл С-програми у кодуванні ср866 (у вікні збереження файла слід вибрати кодову сторінку 866). Однак, цей спосіб далеко не завжди є прийнятним, оскільки вирішує проблеми роботи з кирилицею лише локально, тобто для окремої програми. Так, наприклад, при записі введеного з клавіатури тексту у файл, текст у файлі також буде збережено у ср866. При використанні ж цього файла іншою С-програмою виникають ті ж самі проблеми, якщо кодування для цієї програми не змінено на ср866 (а ймовірність такої зміни є досить малою). Тому очевидно, що використання цього способу "повернення у минуле" навряд чи є доцільним.

Іншим підходом до узгодження середовища розробки С-програм і середовища їх виконання є забезпечення введення, виведення та оброблення текстових даних у "рідному" для MVS кодуванні – ср1251.

Розглянемо спершу засоби реалізації цього підходу, наявні у мові С.

Для врахування особливостей, пов'язаних з конкретною країною (регіоном), у мові С використовуються спеціальні середовища, які називаються ***локальними контекстами*** (*locale* – місце дії) [1]. Вони включають набір параметрів та функцій, що забезпечують підтримку національних стандартів.

Локальний контекст визначається рядком формату: **мова [_зона [.код]]**. Тут **мова** – позначення мови (наприклад, англійська, німецька, українська), а **зона** – країна, в якій використовується мова. Цей кваліфікатор дозволяє підтримувати національні стандарти для різних країн, що використовують одну мову [3]. Кваліфікатор **код** визначає кодову сторінку.

Приклади рядків, що визначають локальні контексти для нашого регіону, наведені у таблиці 1.

Налаштування програми на конкретний локальний контекст у мові С виконує функція **setlocale()** [4], яка змінює поведінку стандартних функцій С для роботи з рядками у відповідності до локалі та категорії:

char *setlocale(int category, const char *locale);

Таблиця 1

Приклади рядків, що визначають локальні контексти

Позначення локалі	Пояснення
Ukr (або ukr) Ukrainian (або ukrainian) Ukrainian_Ukraine	Українська мова (Україна). Кодова сторінка за замовчуванням.
Ukrainian_Ukraine.1251	Українська мова (Україна). Кодова сторінка 1251.
Ukrainian_Ukraine.866	Українська мова (Україна). Кодова сторінка 866.
Rus (або rus) Russian (або russian) Russian_Russia	Російська мова (Росія). Кодова сторінка за замовчуванням.
Russian_Russia.1251	Російська мова (Росія). Кодова сторінка 1251.
Russian_Russia.866	Російська мова (Росія). Кодова сторінка 866.

Аргумент **category** визначає категорію функцій, на які **setlocale()** має вплив. Він може приймати шість різних значень, але найчастіше використовуються два значення: **LC_ALL** – всі категорії; **LC_CTYPE** – функції обробки символів. Аргумент **locale** є вказівником на рядок, що задає ім'я локального контексту. Якщо **locale** вказує на порожній рядок, використовується кодова сторінка, яку одержують із операційної системи. Якщо **locale** дорівнює нулю (NULL), діючий локальний контекст не змінюється.

Можливі різні варіанти виклику функції **setlocale()**, наприклад:

setlocale (LC_ALL, "Ukrainian") – налаштування всіх функцій на Україну;

setlocale (LC_CTYPE, "Ukr") – налаштування функцій обробки символів на Україну;

setlocale (LC_CTYPE, ".1251") – налаштування функцій обробки символів на кодову сторінку 1251;

setlocale(LC_ALL, "") – установка локального контексту з налаштуваннями ОС Windows (ср1251).

Якщо країною і мовою за замовчуванням операційної системи є, наприклад, "Україна" і "українська", наступні два виклики **setlocale()** є функціонально еквівалентними:

`setlocale( LC_ALL, ".1251" );` **`setlocale( LC_ALL, "Ukrainian_Ukraine.1251").`**

Перший аргумент функції можна замінити на **0** або **NULL**: **setlocale(0, "")**; **setlocale(NULL, "Ukr")**.

Замість номера кодової сторінки можна вживати **".OCP**" або **".ACP**" (для використання кодових сторінок 866 та 1251 відповідно):

`setlocale( LC_ALL, ".OCP" )` – явне задання мовного стандарту згідно поточної кодової сторінки ср866, отриманої від операційної системи;

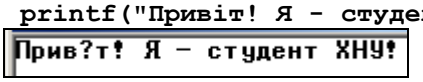
`setlocale( LC_ALL, ".ACP" )` – явне задання мовного стандарту згідно поточної кодової сторінки ср1251, отриманої від операційної системи.

Набір доступних імен мовного стандарту, назв мов, кодів країн та кодових сторінок підтримується Windows API (*Application Programming Interface)*, окрім кодових сторінок, які потребують два і більше байт на один символ (таких, наприклад, як UTF-7 чи UTF-8). Двобайтовою версією функції **setlocale()** є функція **_wsetlocale()**, аргументами та повернеными значеннями якої є рядки двобайтових символів.

Функція **locale()** визначена у стандартному заголовному файлі **locale.h**, який необхідно підключити до С-програми (**#include <locale.h>**). В останніх версіях MVS (2015, 2017) ця функція визначена у файлі **stdlib.h**.

З врахуванням цих відомостей в результаті виконання операторів:

```
setlocale (LC_ALL, "Ukr"); printf("Привіт! Я - студент ХНУ!");
```

у консольному вікні буде виведено: 

Як бачимо, некоректно виводиться лише український символ "і" (замість нього виводиться символ "?"). Цьому можна запобігти, використовуючи в тексті замість українського "і" англійське "i". Решта символів українського алфавіту (в т. ч. "є", "ї") відображаються коректно.

Але найголовнішим є те, що один раз застосувавши функцію **setlocale()**, весь подальший текст, заданий у С-програмі, у консольному вікні буде виведений коректно.

Особливістю функції **setlocale()** є те, що вона працює ***лише з потоком виведення***, тобто при налаштуванні локалі на ср1251 текст, введений у консольному вікні з клавіатури (наприклад, на запит функції **scanf()** або **gets()**), буде виводитись некоректно (рис. 1).

Як бачимо, текст з потоку виведення (тобто заданий у програмі рядковим літералом) виведений коректно. Коректно відобразились і символи кирилиці у процесі їх набору з клавіатури. Але введений рядок виведено некоректно. Це пов'язано з тим, що функція **setlocale()** не має впливу на потік введення, тобто при введені рядків з клавіатури використовується ср866. Отже, для коректного виведення символів кирилиці, введених у консольному вікні, потрібно знову змінити локальний контекст, але вже на ср866 викликом функції **setlocale (LC_ALL, ".866")**, тим самим повернувши початкові налаштування локалі (рис. 2).

```
char str[30];
// зміна локального контексту на Україну (ср1251)
setlocale(LC_ALL,"Ukr");
printf("Введіть рядок символів:\n");
/* введення рядка з клавіатури в консолі:
   Привіт! Я - студент ХНУ! */
gets(str);  // читання введеного рядка
// виведення введеного рядка
printf("\n%s\n", str);
```

```
Введіть рядок символів:
Привіт! Я - студент ХНУ!

?aЁўів! ? - бвг*?-в ?"!
```

а) **б)**

Рис. 1. Некоректне виведення символів кирилиці з потоку введення: а) фрагмент програмного коду; б) результат

```
char str[30];
// зміна локального контексту на Україну (ср1251)
setlocale(LC_ALL,"Ukr");
printf("Введіть рядок символів:\n");
/* введення рядка з клавіатури в консолі:
   Привіт! Я - студент ХНУ! */
gets(str);  // читання введеного рядка
// повернення початкового налаштування локалі (ср866)
setlocale(LC_ALL, ".OCP");
// виведення введеного рядка
printf("\n%s\n\n", str);
```

```
Введіть рядок символів:
Привіт! Я - студент ХНУ!

Привіт! Я - студент ХНУ!
```

а) **б)**

Рис. 2. Коректне виведення символів кирилиці з потоку введення: а) фрагмент програмного коду; б) результат

Таким чином, для виведенні кирилиці, заданої безпосередньо у програмі у вигляді рядкових літералів, слід за допомогою функції **setlocale()** змінити локальний контекст на ср1251, а перед виведенням кирилиці, введеної з клавіатури, необхідно повернути початкові налаштування локалі, тобто встановити ср866. Якщо ж безпосередньо у програмі немає рядків кирилиці, але програма вимагає введення їх з клавіатури, то це не потребує зміни локального контексту, оскільки введення/виведення здійснюється у ср866.

Однак, цей спосіб стає незручним, якщо програма працює з багатьма потоками введення/виведення (потрібно відповідним чином періодично міняти налаштування локалі).

Окрім цього, цей спосіб не вирішує проблем роботи з кирилицею під час спільного оброблення символів та рядків, заданих як програмно, так і введених з клавіатури. Так, наприклад, представлений на рис. 3, а) вірний (синтаксично і логічно) фрагмент програми пошуку у введеному з клавіатури рядку програмно заданого символу дає невірний результат, причому, виведення результату є не зовсім зрозумілим (рис. 3, б)). Переналаштування локалі не дає бажаних результатів.

Звісно, можна окремо виводити рядки, що задаються програмно, і які вводяться з клавіатури (з відповідними переналаштуваннями локалі). Однак, проблема полягає в тому, що у будь-якому випадку програма працює невірно. Як неважко помітити, символ, який шукається (**'д'**), у введеному рядку є, проте, програма "каже", що немає. З урахуванням викладеного вище причина цього є зрозумілою: код символу 'д' відповідає ср1251 (оскільки він заданий програмно у вигляді символьного літерала), а символи введеного рядка відповідають ср866 (оскільки вони введені з клавіатури у консольному вікні).

Таким чином, застосування функції **setlocale()** вирішує проблеми введення/виведення символів кирилиці, але не завжди вирішує проблем їх програмної обробки. Для узгодження середовища розробки та консолі слід встановити єдиний стандарт кодування – ср1251 – як для потоку введення, так і для потоку виведення, що за допомогою лише функції **setlocale()** реалізувати неможливо.

Подальший аналіз показав, що, окрім локалізації, можливість якої закладена у стандарті мови С, існують нестандартні засоби підтримки роботи з кирилицею у консольних С-програмах – функції Win32 API для управління консольним вікном.

Win32 API (далі – WinAPI) – це набір функцій, що працюють під управлінням ОС Windows [5].

Функції WinAPI можуть бути додані до С-проекту включенням заголовного файла **windows.h** (**#include <windows.h>**). **Windows.h** – це специфічний заголовний файл Windows для мов програмування C/C++, який містить декларації (описи) всіх функцій WinAPI, всі загальні макроси, що використовуються програмістами Windows, і всі типи даних, що використовуються різними функціями та підсистемами [6]. Окрім цього, **windows.h** містить директиви включення значної кількості інших (дочірніх) заголовних файлів, надаючи непрямий доступ до їх вмісту (напряму ці файли не можуть бути включеними у С-програму, оскільки не є самодостатніми). Зокрема, у **windows.h** включений заголовний файл **wincon.h**, який містить

структури даних, типи даних та описи функцій, призначених виключно для роботи в консолі.

```
char str[30], ch = 'д';
setlocale(LC_ALL,".1251");
printf("Введіть рядок символів:\n");
/* введення рядка з клавіатури в консолі:
   Привіт! Я - студент ХНУ! */
gets(str);
setlocale(LC_ALL, ".866");
//Пошук заданого символа у рядку
if (strchr(str,ch) != NULL)
   printf ("\nУ рядку '%s' символ '%c' є.\n", str, ch);
     else
        printf ("\nУ рядку '%s' символа '%c' немає.\n", str, ch);
```

а)

```
Введіть рядок символів:
Привіт! Я - студент ХНУ!

ш Ё фъє 'Привіт! Я - студент ХНУ!' ёшьтюыр 'ф' эхьр||.
```

```
Введіть рядок символів:
Привіт! Я - студент ХНУ!

У рядку '?аЁўів! ? - бвг*?-в ?"!' символа 'д' немає.
```

б)

Рис. 3. Некоректне виведення рядків кирилиці: а) фрагмент програмного коду; б) результати

Файл **wincon.h** місить прототип функції **SetConsoleCP()** [7]:

BOOL WINAPI SetConsoleCP (UINT wCodePageID);

Ця функція встановлює кодову сторінку, яка використовується консоллю, асоційовану із запущеним процесом під час введення символів з клавіатури (тобто в ***потік введення***). Параметр **wCodePageID** є ідентифікатором встановлюваної кодової сторінки (866, 1251).

Установка ср1251 в потік виведення за допомогою функції **setlocale()** і установка ср1251 в потік введення за допомогою функції **SetConsoleCP(1251)** (рис. 4, а)) дає можливість вірно опрацьовувати символи і рядки кирилиці. Однак, експериментально встановлено, що при цьому виведення тексту знову є некоректним (рис. 4, б)). Це пояснюється особливістю роботи функції **setlocale()**: ця функція не змінює кодову сторінку в потоці виведення, якщо така сторінка в консолі вже встановлена. Оскільки ср1251 в консолі встановлена функцією **SetConsoleCP(1251)**, то функція **setlocale()** її не змінює. А так як ср1251 встановлена лише на потік введення, то виведення здійснюється в ср866. Єдиний спосіб вирішити цю проблему – після завершення потоку введення повернути в консолі ср866 за допомогою функції **SetConsoleCP(866)**, щоб в потоці виведення функція **setlocale()** її змінила на ср1251 (рис. 5, а), що й забезпечує коректне виведення результатів (рис. 5, б).

```
char str[30], ch = 'д';
// Установка ср1251 в потік виведення
setlocale(LC_ALL,".1251");
printf("Введіть рядок символів:\n");
// Установка ср1251 в потік введення
SetConsoleCP(1251);
gets(str);
// Пошук заданого символа у рядку
if (strchr(str,ch) != NULL)
printf ("\nУ рядку '%s' символ '%c' є.
\n", str, ch);
  else
     printf ("\nУ рядку '%s' символа '%c'
немає.\n", str, ch);
```

а)

```
Введіть рядок символів:
дорога

ш Ё фъє 'фюЁюур' ёшьтюы 'ф' ||.
```

```
Введіть рядок символів:
мама

ш Ё фъє 'ьрьр' ёшьтюыр 'ф' эхьр||.
```

б)

Рис. 4. Некоректне виведення рядків кирилиці: а) фрагмент програмного коду; б) результати

```
char str[30], ch = 'д';
// Установка ср1251 в потік виведення
setlocale(LC_ALL,".1251");
printf("Введіть рядок символів:\n");
// Установка ср1251 в потік введення
SetConsoleCP(1251);
gets(str);
// Повернення консолі у ср866
SetConsoleCP(866);
// Пошук заданого символа у рядку
if (strchr(str,ch) != NULL)
printf ("\nУ рядку '%s' символ '%c' є.
\n", str, ch);
  else
    printf ("\nУ рядку '%s' символа '%c'
немає.\n", str, ch);
```

```
Введіть рядок символів:
дорога

У рядку 'дорога' символ 'д' є.
```

```
Введіть рядок символів:
мама

У рядку 'мама' символа 'д' немає.
```

а) **б)**

Рис. 5. Коректне опрацювання та виведення рядків кирилиці: а) фрагмент програмного коду; б) результати

Таким чином, метод спільного використання функцій **setlocale()** та **SetConsoleCP()**, хоча й вирішує практично всі проблеми роботи з кирилицею, однак також є незручним, якщо програма працює з багатьма потоками введення/виведення. Окрім того, для використання кожної з цих функцій до програми має бути підключена своя окрема бібліотека, що не є оптимальним.

У заголовному файлі **windows.h** (точніше, **wincon.h**) визначена функція, яка змінює кодову сторінку в ***потоці виведення*** – **SetConsoleOutputCP()** [8]:

BOOL WINAPI SetConsoleOutputCP(UINT wCodePageID);

Параметр **wCodePageID** є ідентифікатором встановлюваної кодової сторінки.

Спільне використання функцій **SetConsoleCP(1251)** і **SetConsoleOutputCP(1251)** (тобто одноразове встановлення ср1251 як в потік введення, так і в потік виведення) виключає необхідність використання функції **setlocale()** та заголовного файла **locale.h** і, як наслідок, не потребує періодичних переналаштувань консолі.

Однак, за допомогою функції **SetConsoleOutputCP(1251)** символи кирилиці виводяться коректно лише за умови, якщо у консольному вікні встановлений векторний шрифт (шрифт TrueType).

Проведений аналіз різних версій ОС Windows показав, що консольне вікно може відкриватись як з точковими (наприклад, у Windows XP, Windows 7), так і з векторним (наприклад, у Windows 10) шрифтами, встановленими за замовчуванням. Для MVS останніх версій (2015 та 2017), які можуть бути встановлені в операційному середовищі Windows 10, консольне вікно відкривається зі шрифтом TrueType – **Consolas**. Для більш ранніх версій MVS (2010, 2012, 2013), які можуть бути встановлені у середовищі Windows XP чи Windows 7, консольне вікно відкривається з точковими шрифтами, що й призводить до некоректного виведення україномовного тексту. Виходом з цієї ситуації є ручне встановлення в консолі шрифту TrueType під час виконання С-програми (у вікні властивостей вікна) – зазвичай шрифту **Lucida Console**. Шрифт можна змінити або лише для поточного вікна (тоді цю процедуру треба буде повторювати при кожному виконанні програми) або зберегти властивості для інших вікон (тоді процедуру зі зміни поточного шрифта повторювати не прийдеться).

Отже, при спільному використанні функцій **SetConsoleCP(1251)** і **SetConsoleOutputCP(1251)** перекодування символів у процесі їх введення/виведення здійснюються автоматично. Недоліком цього способу можна вважати ручне встановлення TrueType-шрифту в консолі для MVS 2010, 2012, 2013 (які функціонують у середовищі ОС Windows XP або 7); при цьому у самій консолі відображення кирилиці при введенні здійснюється коректно навіть при використанні растрових шрифтів. Також окремо слід зауважити, що включення заголовного файла **windows.h** у С-програму, враховуючи об'ємність інтерфейсу WinAPI, суттєво збільшує час компіляції навіть невеликих програм (хоча цей недолік можна усунути за допомогою механізму прекомпіляції).

І, нарешті, ще одну можливість вирішення проблем роботи з кирилицею у С-програмах надає системна утиліта ОС Windows – **chcp.com**, яка застосовується для перегляду або зміни поточної кодової сторінки у вікні командного рядка Windows (у консольному вікні) [9]. Команда "**chcp** номер_кодової_сторінки" запускається із С-програми за допомогою функції **system()** [10], яка визначена у заголовних файлах **windows.h**, **stdlib.h** і **process.h** (один з них слід підключити до С-програми):

int system(const char *str);

Функція **system()** передає рядок, що адресується параметром **str** (у нашому випадку це, як було вже зазначено, "**chcp** номер_кодової_сторінки") як команду для командного процесора операційної системи.

Отже, щоб змінити кодову сторінку в консолі на ср1251, достатньо включити у С-програму функцію:

system("chcp 1251");

Однак, слід пам'ятати, що за допомогою цієї функції, як і функції **SetConsoleOutputCP(1251)**, символи кирилиці виводяться коректно лише за умови, якщо у консольному вікні встановлений шрифт TrueType.

Висновки

Проблема української мови у консольних С-програмах полягає в тому, що консоль і редактор коду MVS підтримують різні кодові сторінки (cp866 і cp1251 відповідно), у яких для символів кирилиці виділені різні діапазони кодів. З метою вирішення цієї проблеми для коректного опрацювання кирилиці в консолі необхідно забезпечити перетворення кодування символів до середовища виконання або поміняти кодову сторінку в консолі (щоб вона відповідала кодовій сторінці редактора MVS).

При першому підході для забезпечення перетворення кодування символів до середовища виконання можна зберегти файл С-програми у кодуванні cp866 (що не є доцільним). У рамках другого підходу проаналізовані та запропоновані наступні засоби: стандартна функція мови С – **setlocale()**; функції WinAPI – **SetConsoleCP()** та **SetConsoleOutputCP()**; системна команда **chcp** та функція **system()**.

На основі проведеного дослідження можна зробити висновок, що для MVS версій 2015 та 2017 (встановлених у середовищі ОС Windows 10) оптимальним варіантом забезпечення коректної роботи з кирилицею є використання в С-програмах функції **system("chcp 1251")**, яка визначена у стандартному заголовному файлі **stdlib.h** (що не вимагає підключення до С-програм об'ємного WinAPI). Вибір засобів забезпечення коректної роботи з кирилицею (з врахуванням їх переваг та недоліків) для MVS нижчих версій залишається за програмістом, в залежності від версії та налаштувань ОС Windows і типу вирішуваних задач. Зокрема, якщо програма обробляє текстові дані тільки в потоці виведення, то достатньо використовувати лише функцію **setlocale()**. Загальним же способом є конвертування вхідних даних та їх оброблення у cp1251.

Література

1. Тарасов. В. Л. Локализация консольных приложений в языке C++ / В. Л. Тарасов // Вестник Нижегородского университета имени Н. И. Лобачевского. – 2011. – № 3(2). – С. 301–307.

2. Гринченко С. В. Настройка ввода-вывода русского текста в консольных приложениях Visual C++ 2010 / С. В. Гринченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Радіофізика та іоносфера. – 2016. – № 34 (1206). – С. 34–40.

3. Microsoft Locale ID Values // Microsoft Developer Network. URL: https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms912047(v=winembedded.10).aspx. – Title from the screen.

4. Setlocale, _wsetlocale // Microsoft Developer Network. URL: https://msdn.microsoft.com/en-us/library/x99tb11d(v=vs.140).aspx. – Title from the screen.

5. Windows API // Microsoft Developer Network. URL: https://msdn.microsoft.com/en-us/library/cc433218(VS.85).aspx. – Title from the screen.

6. Windows.h // WikipediA. The Free Encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Windows.h. – Title from the screen.

7. SetConsoleCP function // Microsoft Developer Network. URL: https://msdn.microsoft.com/en-us/vstudio/ms686013 (v=vs.110). – Title from the screen.

8. SetConsoleOutputCP function // Microsoft Developer Network. URL: https://msdn.microsoft.com/en-us/vstudio/ms686036 (v=vs.110). – Title from the screen.

9. Chcp [Электронный ресурс] // Библиотека TechNet Microsoft. – Режим доступа : https://technet.microsoft.com/library/bb490874.aspx. – Название с экрана.

10. System, _wsystem // Microsoft Developer Network. URL: https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/windows/desktop/277bwbdz(v=vs.120).aspx. – Title from the screen.

References

1. Tarasov V. L. Localization of console applications in C++ language / V. L. Tarasov // Bulletin of the Nizhny Novgorod University named after N. I. Lobachevsky. – 2011. – No. 3(2). – P. 301-307.

2. Grinchenko S. V. Input and output adjustment of Russian text in Visual C++ 2010 console applications / S. V. Grinchenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Radiophysics and ionosphere. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. – No. 34 (1206). – P. 34-40.

3. Microsoft Locale ID Values // Microsoft Developer Network. URL: https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms912047(v=winembedded.10).aspx. – Title from the screen.

4. Setlocale, _wsetlocale // Microsoft Developer Network. URL: https://msdn.microsoft.com/en-us/library/x99tb11d(v=vs.140).aspx. – Title from the screen.

5. Windows API // Microsoft Developer Network. URL: https://msdn.microsoft.com/en-us/library/cc433218(VS.85).aspx. – Title from the screen.

6. Windows.h // WikipediA. The Free Encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Windows.h. – Title from the screen.

7. SetConsoleCP function // Microsoft Developer Network. URL: https://msdn.microsoft.com/en-us/vstudio/ms686013 (v=vs.110). – Title from the screen.

8. SetConsoleOutputCP function // Microsoft Developer Network. URL: https://msdn.microsoft.com/en-us/vstudio/ms686036 (v=vs.110). – Title from the screen.

9. Chcp // Library TechNet Microsoft. URL: https://technet.microsoft.com/library/bb490874.aspx. – Title from the screen.

10. System, _wsystem // Microsoft Developer Network. URL: https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/windows/desktop/277bwbdz(v=vs.120).aspx. – Title from the screen.

Рецензія/Peer review : 05.11.2017 р. Надрукована/Printed :24.01.2018 р.
Рецензент: д-р фіз.-мат. наук, проф. Бедратюк Л. П.

УДК 004

О.В. МАЗУРЕЦЬ, О.В. КОВАЛЬЧУК, В.О. СЛОБОДЗЯН
Хмельницький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ПРОГРАМНИХ РОЗШИРЕНЬ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОБОТИ З ЦИФРОВИМИ ДОКУМЕНТАМИ НАВЧАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

В статті досліджено проблему автоматизації роботи з електронними документами навчальних матеріалів у задачах визначення структури змістовних блоків у електронному документі навчального матеріалу та пошуку ключових термінів у контенті навчального матеріалу. Встановлено, що для реалізації програмної обробки електронних документів є доцільним використання спеціалізованих програмних комплексів, що надають необхідний інструментарій для програмної роботи з контентом відповідних файлів. З метою визначення найбільш ефективного програмного розширення проведено аналіз сучасних існуючих спеціалізованих програмних розширень для автоматизації обробки електронних документів: Microsoft.Office.Interap.Word.dll, DocumentFormat.OpenXml.dll та Spire.Doc.dll. За результатами аналізу встановлено, що бібліотека Microsoft.Office.Interap.Word.dll надає доступ до всіх функцій MS Office, так як працює безпосередньо з PIA, для її роботи потрібна ліцензія для MS Office на кожному клієнтському комп'ютері, MS Office завантажується у фоновому режимі, внаслідок чого займає значний обсяг оперативної пам'яті. При роботі з docx-файлом за допомогою DocumentFormat.OpenXml.dll не потрібна наявність MS Office та запуск в фоновому режимі, проте зростає складність програмного використання бібліотеки внаслідок необхідності регулярного співставлення ідентифікатора стиля з контейнером властивостей стилів. Перевагою Spire.Doc.dll визначено реалізацію функцій автоматичного співставлення стилів текстових блоків їх властивостям на рівні розширення. В результаті аналізу розглянутих бібліотек було визначено Spire.Doc.dll оптимальним варіантом для використання в автоматизації обробки електронних документів. Встановлено, що перенесення функцій автоматичного співставлення стилів текстових блоків їх властивостям з рівня функціоналу програмного коду застосунка на рівень функціоналу бібліотеки дозволяє спростити як роботу застосунка з електронним документом, так і процес програмування. Розглянуто практичні особливості використання розширення Spire.Doc.dll при роботі з електронними документами .DOCX. З метою визначення можливості застосування обраного інструменту в задачах роботи з електронними документами було проведено його практичну апробацію в складі програмної системи для вирішення прикладної задачі побудови структури електронного документу та пошуку ключових слів у його контенті. В результаті встановлено можливість та достатню ефективність використання розширення Spire.Doc.dll для роботи з електронними документами навчальних матеріалів.

Ключові слова: електронний документ, цифровий документ, навчальні матеріали, ключові терміни, Microsoft.Office.Interap.Word, DocumentFormat.OpenXml, Spire.Doc.

O.V. MAZURETS, O.V. KOVALCHYK, V.O. SLOBODZIAN
Khmelnytsky National University

USING SPECIALIZED SOFTWARE PACKEGES FOR AUTOMATION OF WORK WITH DIGITAL DOCUMENTS OF EDUCATIONAL MATERIALS

At article investigated a problem of the automation work with electronic documents of educational materials in the tasks for determining the structure of content blocks at electronic documents educational material and search of key terms in content of educational materials. It is established that for software processing of electronic documents need to use specialized program components that provide the necessary tools for work with content of files. Microsoft.Office.Interop.Word.dll, DocumentFormat.OpenXml.dll and Spire.Doc.dll were using for choose the most effective program components for automation work with electronic documents. In process audit established that Microsoft.Office.Interap.Word.dll provide access to all function of MS Office because it works with PIA. This library needs a license for MS Office at every computers of client and MS Office loaded in the background, in result it occupies many RAM. DocumentFormat.OpenXml.dll uses for work with docx file. This component does not need to install MS Office and work in the background but the complexity of use this library is increasing to the need to regularly match the style ID with the styles properties container. The advantage of Spire Doc.dll is the implementation of automatic functions for matching of style of text blocks to their properties. In result audit this libraries there was chosen Spire.Doc.dll for use to automation of processing of electronic documents. It is established that in result transfer of functions for automatic matching styles of text block to their properties from the level of the functional code of the application to the level of the functional library simplify work of the application with electronic document and programming process. There was considered practical features of Spire.Doc.dll for working with electric documents ".DOCX". There was practical use made this tool in program system for determine its the possibilities at using in the tasks for work with electronic documents. The system is designed to build the structure of an electronic document and search keywords in its content. Explored the possibility and effectiveness of using the Spire.Doc.dll library to work with electronic educational materials documents.

Keyword: digital document, electronic document, key terms, educational materials, Microsoft.Office.Interap.Word, DocumentFormat.OpenXml, Spire.Doc.

Постановка проблеми в загальному вигляді

Автоматизація вирішення ряду задач у галузі сучасної вищої освіти (оцінка відповідності навчальних матеріалів вимогам, оцінка відповідності наборів тестових завдань навчальним матеріалам, автоматизована генерація прототипів тестових завдань, реалізація гнучких алгоритмів тестування, допомога та контроль якості при формуванні навчальних матеріалів, допомога та контроль якості при формуванні тестів до навчальних матеріалів, автоматизація формування рефератів та анотацій до елементів навчальних матеріалів тощо) забезпечується через застосування онтології як методу формального опису знань, що містяться в навчальних матеріалах. Модель онтології навчального матеріалу може складатися з ключових

слів, ключових термінів, структури навчального матеріалу, атрибутів ключових слів та ключових термінів, що визначають їх властивості та забезпечують прив'язку до елементів структури навчального матеріалу [1]. За такої моделі, онтологія навчального матеріалу є методом виявлення сенсу навчального матеріалу та засобом вирішення наведеного ряду практичних задач.

Основними з етапів побудови онтології навчального матеріалу є пошук ключових термінів у контенті навчального матеріалу та побудова його логічної структури. Вхідними даними є електронний документ навчального матеріалу. Для автоматизації виконання обох наведених етапів потрібна програмна обробка відповідних цифрових файлів (зазвичай формату .DOCX). Для ефективної реалізації програмної обробки цифрових документів є доцільним використання спеціалізованих програмних комплексів, що надають об'єктно-орієнтований інструментарій для програмної роботи з контентом відповідних файлів.

Аналіз останніх досліджень

Проблему автоматизації побудови логічної структури навчального матеріалу (наприклад: Дисципліна / Розділ / Тема) пропонується вирішувати шляхом визначення ієрархії змістовних блоків у цифровому документі [1], таким чином формуючи верхній рівень вертикальної онтології відповідної навчальної дисципліни. Проблему пошуку ключових термінів у контенті навчального матеріалу пропонується вирішувати шляхом використання відповідної інформаційної технології на основі дисперсійної оцінки [2], таким чином формуючи нижній рівень онтології навчальної дисципліни.

Визначено, що онтологія навчального матеріалу розглянутої моделі може бути методом виявлення сенсу навчального матеріалу й ефективно використана в розробці інформаційних технологій для роботи з навчальними матеріалами [1]. Зокрема, з застосуванням такої моделі онтології навчального матеріалу було розв'язано ряд практичних задач: оцінка відповідності навчальних матеріалів вимогам [3], оцінка відповідності наборів тестових завдань навчальним матеріалам [4], автоматизована генерація прототипів тестових завдань [5], реалізація гнучких алгоритмів тестування [6], автоматизація формування рефератів та анотацій до елементів навчальних матеріалів [7] та інші.

Для реалізації програмної обробки цифрових документів є доцільним використання розглянутих в даній статті спеціалізованих програмних комплексів, що надають необхідний інструментарій для програмної роботи з контентом відповідних файлів, зокрема: Microsoft.Office.Interap.Word.dll [8], DocumentFormat.OpenXml.dll [9], Spire.Doc.dll [10].

Постановка задачі

Метою статті є аналіз сучасних існуючих спеціалізованих програмних розширень для автоматизації обробки цифрових документів і визначення найбільш ефективного програмного розширення. Методом визначення можливості застосування обраного інструменту в задачах роботи з цифровими документами є його практична апробація в складі програмної системи для вирішення відповідних прикладних задач.

Викладення основних матеріалів дослідження

На сучасному етапі для зберігання електронних документів навчальних матеріалів використовується файл з розширенням .DOCX (або створених на його основі .HTML, .PDF тощо). На відміну від файлів .DOC, які зберігають дані документа в одному бінарному файлі, файли .DOCX створюються за допомогою відкритого формату XML, в якому зберігаються документи як колекції окремих файлів і папок в стиснутому пакеті. .DOCX-файли містять .XML-файли і три папки, docProps, Word, і _rels (Рис. 1а), які містять властивості документа, його зміст (Рис. 1б) і відношення між файлами, тему (Рис. 1в) та включені файли (Рис. 1г). .DOCX-файли розроблені, щоб зробити вміст документів доступним і відкритим – так, текстовий документ чи зображення зберігаються як окремі прості файли в такій колекції у складі одного файлу .DOCX.

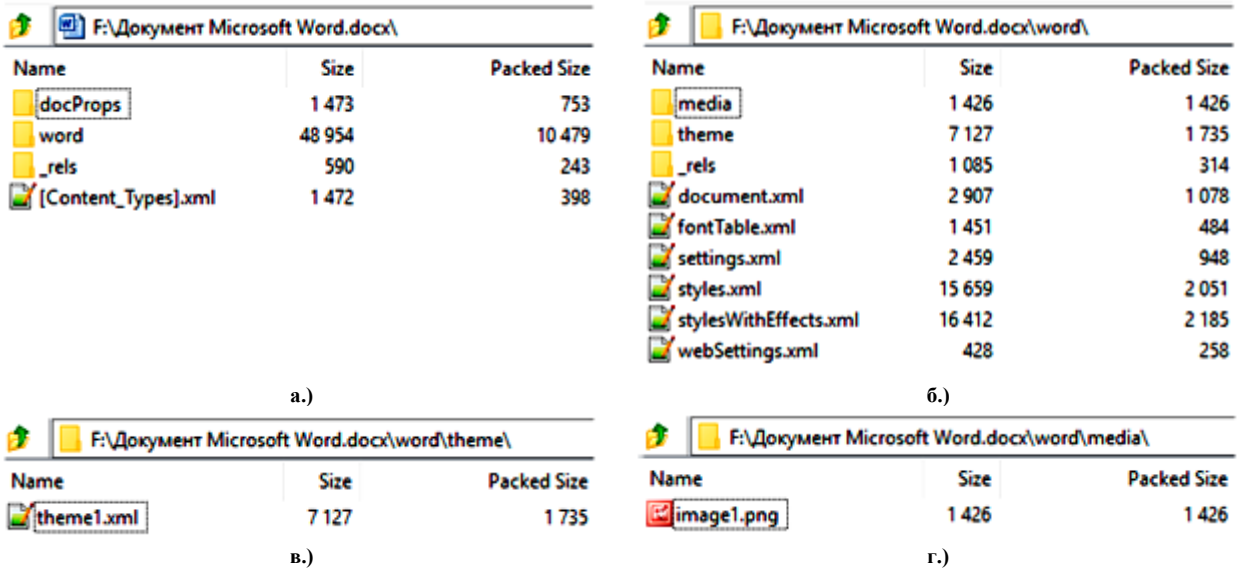


Рис. 1. Структура .DOCX-файлу

Office OpenXML є форматом електронних офісних документів, таблиць, презентацій та діаграм, розроблений компанією Microsoft. Даний формат є міжнародним стандартом, який затверджений в Міжнародній організації зі стандартизації (ISO) [11]. Він включає в себе такі первинні мови розмітки:

- WordprocessingML – для обробки текстових документів;
- SpeadsheetXL – електронних таблиць;
- PresentationML – для презентацій;
- DrawingML – для векторної графіки, діаграм.

Хоча Word реалізує свою функціональність через об'єктну модель, збереження даних відбувається у наборі XML-файлів, що ускладнює можливості для автоматизації прямого програмного парсингу [12]. Оскільки файл стилів та текст знаходяться в різних файлах у складі .XML, потрібно зчитувати одразу ряд файлів та на базі їх взаємозв'язків програмно формувати об'єктну модель документа, що є не найкращим рішенням. Тому для реалізації програмної обробки цифрових документів є доцільним використання спеціалізованих програмних комплексів, що надають об'єктно-орієнтований інструментарій для програмної роботи з контентом відповідних файлів. Найбільш відомими з таких спеціалізованих програмних комплексів є розширення Microsoft.Office.Interap.Word.dll [8], DocumentFormat.OpenXml.dll [9] та Spire.Doc.dll [10].

Microsoft.Office.Interap.Word.dll

Бібліотека Microsoft.Office.Interap.Word.dll [8] дозволяє керованому коду взаємодіяти з MS Office та об'єктною моделлю на базі COM.

За допомогою процесів автоматизації Office Automation програми, написані мовами, такими як Visual C# .NET, отримують можливість програмно керувати іншими програмами. Автоматизація Microsoft Word (далі Word) дозволяє виконувати відповідні дії, такі як створення нового документу, додавання даних у документ або створення таблиць. З програмами Word та іншими програмами Microsoft Office практично всі дії, які користувач може виконувати вручну за допомогою користувацького інтерфейсу, також можуть бути виконані програмним шляхом за допомогою автоматизації Office Automation.

Word реалізує цю програмну функціональність через об'єктну модель [13]. Об'єктна модель є набором класів і методів, які служать аналогами логічних компонентів Word. Наприклад, існує об'єкт Application, об'єкт Document та об'єкт Paragraph, кожен з яких містить функціональність цих частин Word (рис. 2).

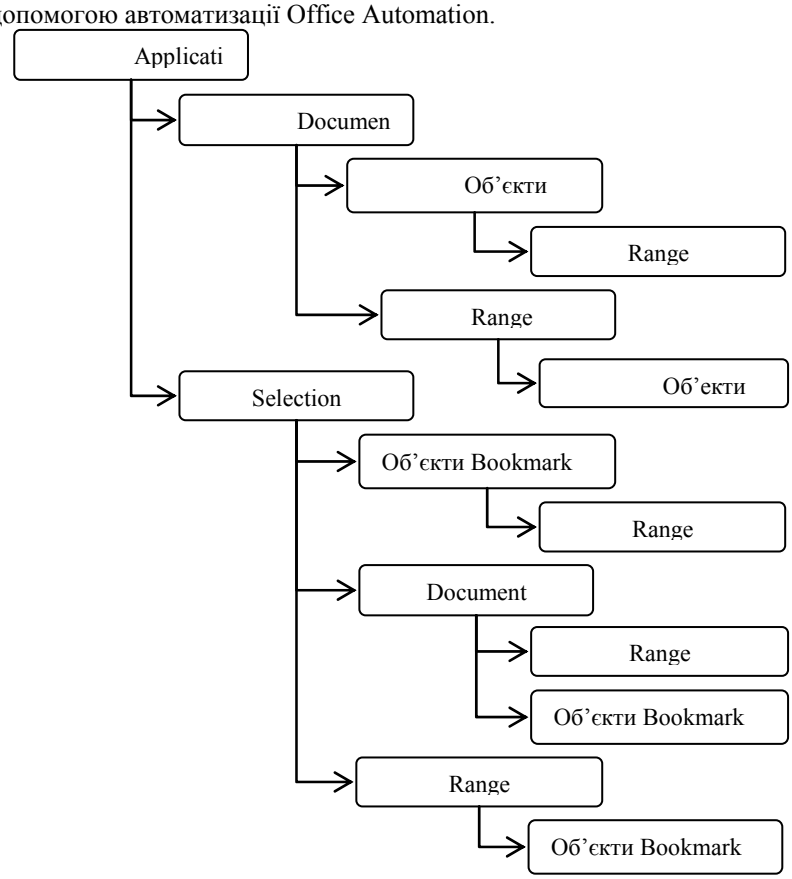


Рис. 2. Об'єктна модель Word

Щоб використовувати функції програми MS Office в проекті, можна використовувати первинний взаємозв'язок PIA (Primary Interop Assembly). PIA дозволяє керованому коду взаємодіяти з MS Office та об'єктною моделлю на базі COM. При створенні нового проекту Office, Visual Studio додає посилання на PIA, необхідний для побудови проекту. При цьому, у деяких сценаріях доводиться додавати посилання на додаткові PIA (наприклад, якщо необхідно використовувати функцію MS Office Word в проекті для MS Office Excel).

Для роботи з інтерфейсом Microsoft.Office.Interop.Word.dll необхідно встановити відповідну збірку, для чого в меню Tools потрібно обрати пункт NuGet Package Manager та запустити Package Manager Console та ввести наступну команду:

```
PM> Install-Package Microsoft.Office.Interop.Word
```

Після того як менеджер пакетів повідомить про успішне завершення встановлення, можна починати працювати з необхідними інтерфейсами.

DocumentFormat.OpenXml.dll

Бібліотека класів .NET DocumentFormat.OpenXml.dll (версії 2.0 / 2.5 / 2.8.1) [9] дає можливість розробникам програмного забезпечення працювати з пакетом Microsoft Office. Компанія надає дану бібліотеку безкоштовно в повному доступі, й її можна завантажити з офіційного сайту Microsoft або

засобами Visual Studio.

Для роботи з файлами формату .DOCX, який має зображену на рисунку 1 структуру, використовується мова розмітки WordprocessingML [14]. На рисунку 3 зображено приклад структури цієї мови розмітки.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<w:document xmlns:w="http://schemas.openxmlformats.org/wordprocessingml/2006/main">
<w:body>
<w:p>
<w:r>
<w:t> Текст </w:t>
</w:r>
```

Рис. 3. Приклад WordprocessingML-розмітки .DOCX-документу

Теги, наведені на рис. 3, мають такі властивості:

- *document* – є основою частиною документа
- *body* – контейнер для збору структур рівня блоку, які складають основну історію;
- *p* – абзац (paragraph);
- *r* – контейнер який містить в собі текст з однаковими властивостями (run);
- *t* – власне текстовий елемент (text).

Всі інші теги, які можуть використовуватися, є допоміжними до вищенаведених і додають їм стильових властивостей.

Spire.Doc.dll

Spire.Doc.dll [10] для .NET є повністю незалежною бібліотекою класів .NET Word, спеціально створеною для розробників, й дозволяє швидко генерувати, відкривати, редагувати та зберігати документи Word різних версій. Конвертація функціональних можливостей дозволяє розробникам здійснювати перетворення Word в інші актуальні формати документів (.PDF, .EPub, .HTML, .RTF, .Image, .XML тощо). Можна створювати та обробляти вже існуючі документи Word динамічно.

Бібліотека Spire.Doc.dll забезпечує роботу з майже всіма елементами документа Word, а саме: сторінки, розділи, заголовки, колонтитули, абзаци, переліки, таблиці, текст, виноски, поля, гіперпосилання, закладки, коментарі, зображення, стилі, фонові параметри, функції друку, налаштування документа та захисту. Крім того, підтримуються графічні об'єкти, включаючи форми, текстові поля, зображення, OLE-об'єкти та елементи керування. Бібліотека Spire.Doc.dll підтримує функцію пошуку та заміни, вирівнювання, перерву сторінки, поле заповнення, об'єднання документів, копіювання документів, друк тощо.

Для роботи з бібліотекою Spire.Doc необхідно встановити відповідну збірку, для чого потрібно запустити Package Manager Console та виконати наступну команду:

```
PM> Install-Package Spire.Doc
```

Після завершення встановлення можна починати працювати з бібліотекою.

Дискусія

Хоч бібліотека Microsoft.Office.Interap.Word.dll надає доступ до всіх функцій MS Office, так як працює безпосередньо з PIA, для її роботи потрібна ліцензія для MS Office на кожному клієнтському комп'ютері. Крім того, при використанні Automation, MS Office завантажується у фоновому режимі, внаслідок чого займає деякий обсяг оперативної пам'яті та завантажує велику кількість файлів і DLL. Додатки MS Office були розроблені як додатки для користувацького інтерфейсу, і через це Microsoft.Office.Interop.Word.dll працює повільно. Microsoft не рекомендує використовувати Office Automation (або будь-який Office Interop) на сервері.

На відміну від Microsoft.Office.Interap.Word.dll, DocumentFormat.OpenXml.dll та Spire.Doc.dll не вимагають наявності MS Office на машині користувача та його запуску в фоновому режимі.

При роботі з docx-файлом за допомогою DocumentFormat.OpenXml.dll потрібно дотримуватися тієї ж ієрархії, що і сама структура розмітки тобто: *document-paragraph-run-text*. Також відповідно до розглянутих вище особливостей взаємозв'язків всередині документу, при присвоєнні параграфу деякого стилю, у властивостях параграфа надається лише ідентифікатор (ID) на даний стиль, натомість сам стиль описується окремо у файлі style.xml. Внаслідок необхідності регулярного співставлення ID стиля з контейнером style.xml для одержання характеристик стилів абзаців, зростає складність програмного використання бібліотеки.

Spire.Doc.dll не вимагає встановлення в систему кожного користувача MS Office, тобто є можливість повністю незалежної від нього роботи. Повна версія Spire.Doc.dll є платною, а безкоштовна версія FreeSpire.Doc має ряд обмежень (наприклад обробка не більше 500 абзаців і 25 таблиць) [15]. Перевагою Spire.Doc.dll визначено відсутність необхідності співставлення ID стиля з контейнером style.xml, оскільки дана функція реалізована на рівні бібліотеки.

Таким чином, в результаті аналізу сучасних існуючих спеціалізованих програмних розширень для автоматизації обробки цифрових документів, було визначено Spire.Doc.dll оптимальним варіантом для використання в автоматизації обробки цифрових документів. Основними перевагами Spire.Doc.dll встановлено відсутність необхідності наявності MS Office на машині користувача та запуску в фоновому режимі, а також реалізацію функцій автоматичного співставлення стилів текстових блоків їх властивостям на рівні розширення.

Перенесення функцій автоматичного співставлення стилів текстових блоків їх властивостям з рівня функціоналу програмного коду застосунка на рівень функціоналу бібліотеки дозволяє спростити як роботу застосунка з цифровим документом, так і процес програмування.

Програмна реалізація

При зчитуванні файлу Spire.Doc.dll перетворює документ в об'єктну модель. Ця модель має структуру, яка починається документом і закінчується об'єктом *TextRange* (рис. 4). Приклад використання такої об'єктної моделі документу MS Office показаний на рис. 5.

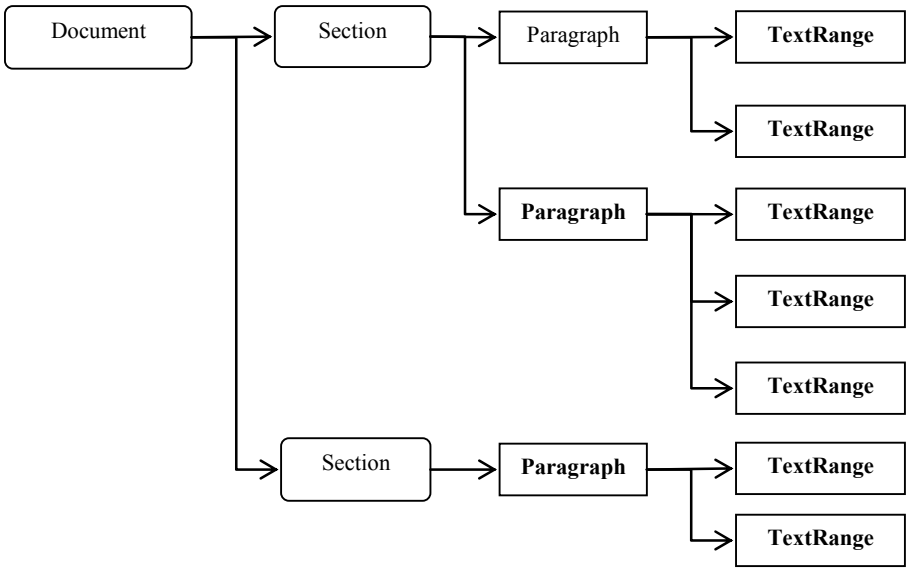


Рис. 4. Загальна структура об'єктної моделі документу

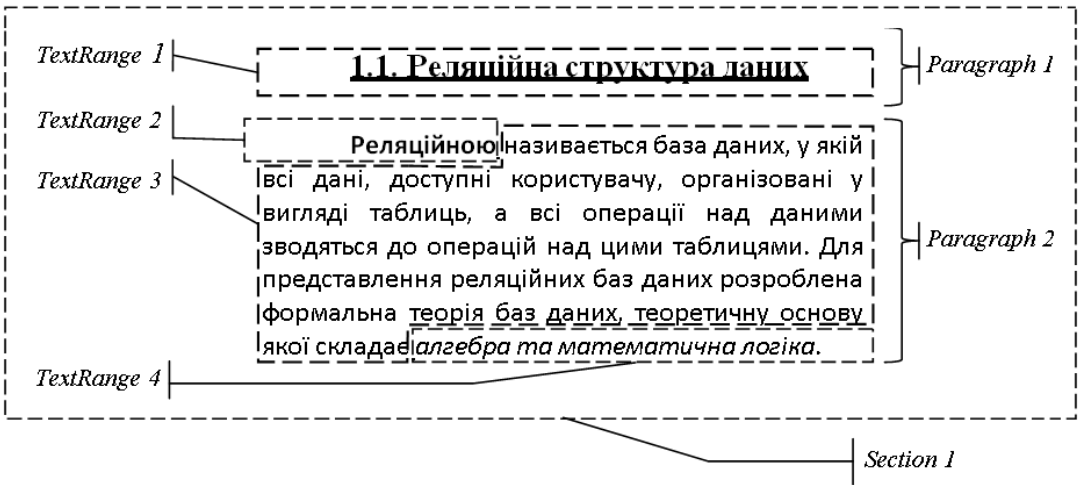


Рис. 5. Приклад використання об'єктної моделі документу MS Office

Відповідно до об'єктної моделі документу, MS Office використовує розділи (*Section*), щоб вказати частини документа, що мають різну орієнтацію сторінки, стовпці або заголовки та нижні колонтитули. Розбиття на Section дозволяє користувачеві вказати місце, де розпочинається і закінчується інше форматування. Тому Section використовуються коли потрібне використання заголовків, колонтитулів, схем, нумерації сторінок, розмірів аркушу, поля чи різні рівні захисту. Об'єкти Section містяться в об'єкті Document (рис. 5), в колекції Selections. А розділи, в свою чергу, містять в собі наступний елемент структури – абзаци (*Paragraph*).

Paragraph в MS Word визначає будь-який текст, який закінчується жорстким поверненням, яке формується, наприклад, при натисканні клавіші Enter. Формат абзацу дозволяє контролювати зовнішній вигляд фрагменту, якщо є окремі абзаци. Наприклад, можна змінити відстань між рядками або вирівнювання тексту по лівому краю на вирівнювання по центру. Можна додати індивідуальні стилі,

відступи для абзаців, або визначити заголовки і списки. В об'єктній моделі *Paragraph* знаходиться в *Document -> Sections -> Section -> Paragraphs* (рис. 6). Одержати відомості про стилі *Paragraph* можна за допомогою методу *GetStyle()* (рис. 7).

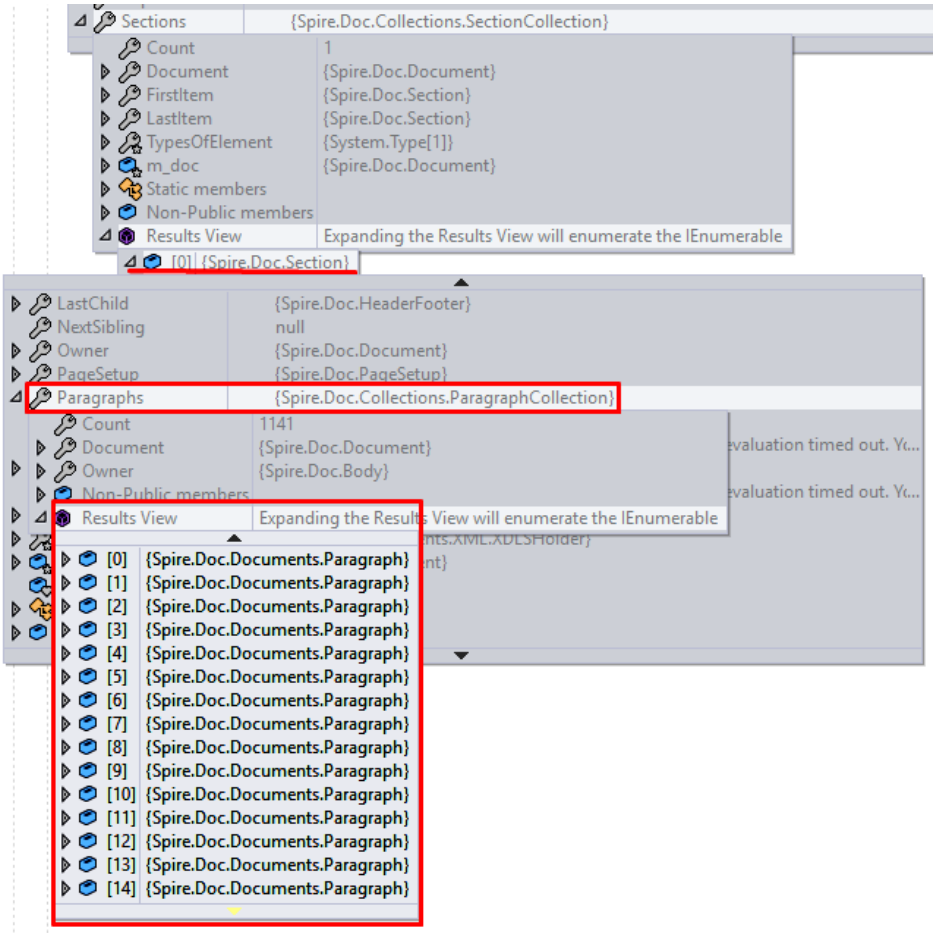


Рис. 6. Позиція визначеного об'єкта Paragraph в об'єктній моделі документа

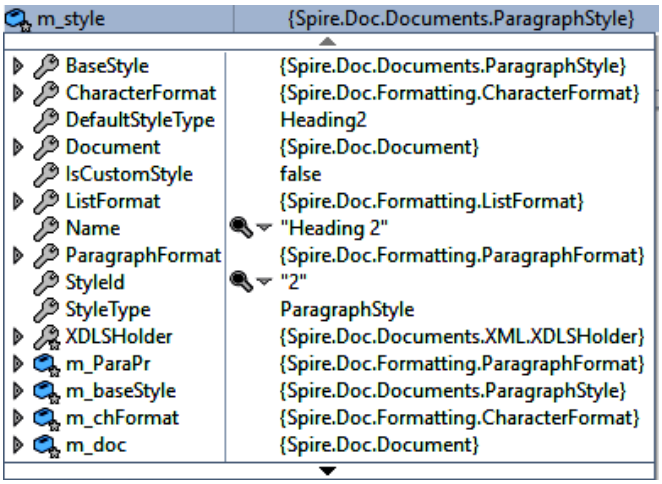


Рис. 7. Одержання відомостей про стилі Paragraph за допомогою методу GetStyle()

TextRange є найнижчим рівнем структури документу, що визначає фрагмент тексту однакового стилю. Тому для того, щоб при розв'язку прикладних задач отримати окремо кожне слово з власними властивостями стилів, потрібна розробка додаткового алгоритму для розбиття цих фрагментів *TextRange* на слова. *TextRange* знаходиться в *Paragraph -> Items*. Через роботу з відповідними властивостями, можна одержати текст (рис. 8) та стилі (рис. 9), що відносяться до визначеного *TextRange*.

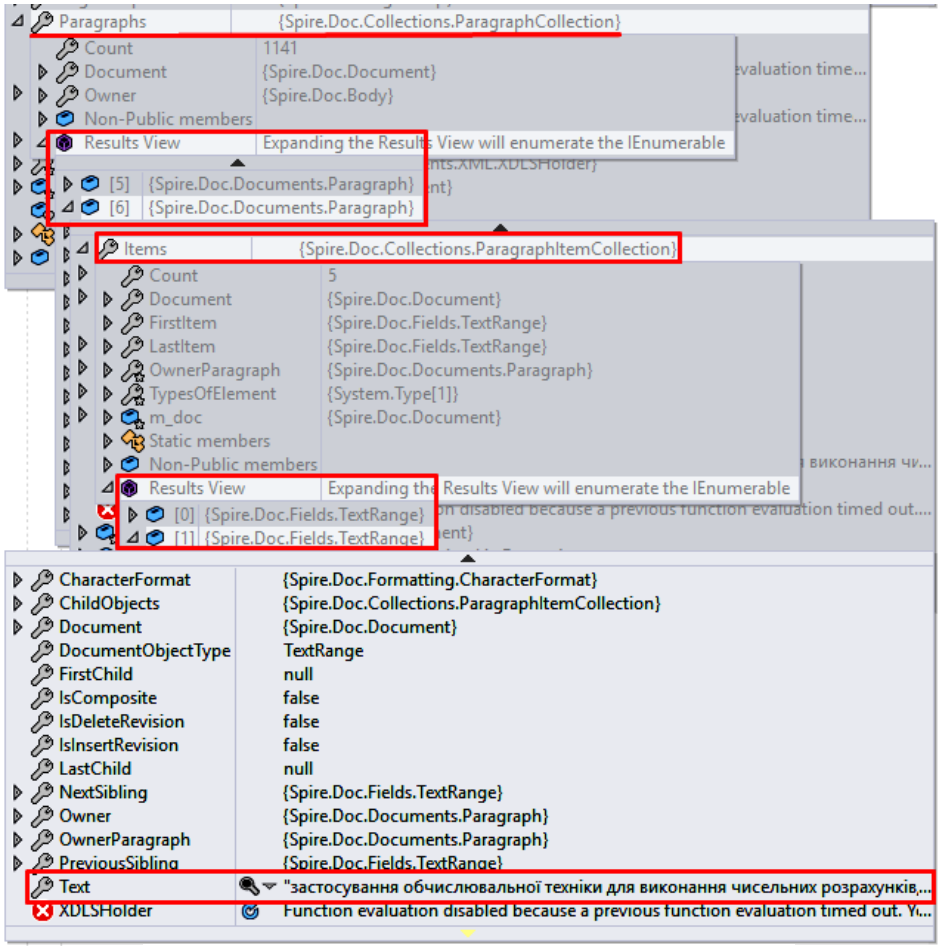


Рис. 8. Позиція визначеного тексту в TextRange у об'єктній моделі

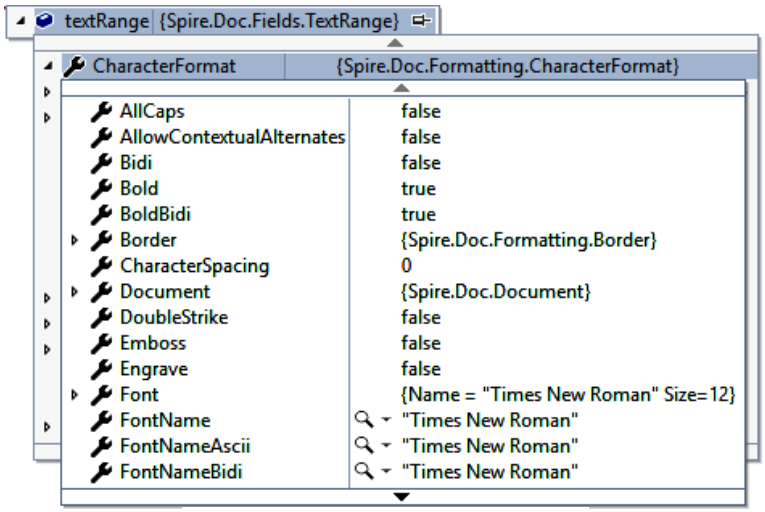
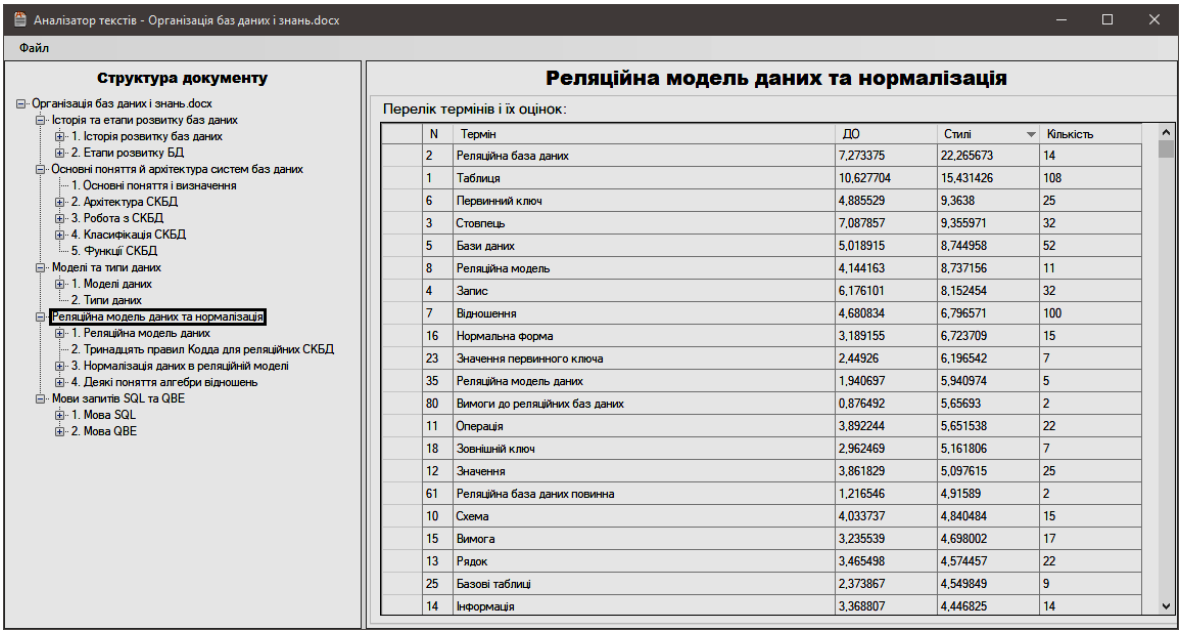


Рис. 9. Деякі стилі визначеного TextRange

Paragraph може містити лише один з кількох визначених форматів: *Level1, Level2, Level3, Level4, Level5, Level6, Level7, Level8, Level9, Body*. Відповідно до цього значення, можна визначити заголовки та їх рівні. Кожен похідний елемент має посилання на батьківський, і таким чином існує можливість визначити прив'язку певного елементу до певного модулю, заголовку чи підзаголовку при визначенні структури змістовних блоків у електронному документі навчального матеріалу.

З метою визначення можливості застосування розширення Spire.Doc.dll в задачах роботи з електронними документами, було проведено його практичну апробацію в рамках розробки програмної системи для вирішення прикладної задачі побудови структури електронного документу та пошуку ключових слів у його контенті. Зокрема, на рисунку 10 показано приклад обробки файлу «*Організація баз даних і знань.docx*» з автоматичним визначенням структури навчального матеріалу за допомогою аналізу системи заголовків та переліків ключових слів для контенту кожного елементу структури.



N	Термін	ДО	Стилі	Кількість
2	Реляційна база даних	7,273375	22,265673	14
1	Таблиця	10,627704	15,431426	108
6	Первинний ключ	4,885529	9,3638	25
3	Стовпець	7,087857	9,355971	32
5	Бази даних	5,018915	8,744958	52
8	Реляційна модель	4,144163	8,737156	11
4	Запис	6,176101	8,152454	32
7	Відношення	4,680834	6,796571	100
16	Нормальна форма	3,189155	6,723709	15
23	Значення первинного ключа	2,44926	6,196542	7
35	Реляційна модель даних	1,940697	5,940974	5
80	Вимоги до реляційних баз даних	0,876492	5,65693	2
11	Операція	3,892244	5,651538	22
18	Зовнішній ключ	2,962469	5,161806	7
12	Значення	3,861829	5,097615	25
61	Реляційна база даних повинна	1,216546	4,91589	2
10	Схема	4,033737	4,840484	15
15	Вимога	3,235539	4,698002	17
13	Рядок	3,465498	4,574457	22
25	Базові таблиці	2,373867	4,549849	9
14	Інформація	3,368807	4,446825	14

Рис. 10. Приклад результату обробки файлу навчального матеріалу з використанням розширення Spire.Doc.dll

Маючи стилі форматування *Paragraph* та *TextRange*, можна визначити заголовки, рівні заголовків, текст для аналізу чи ігнорування, прив'язку певного фрагменту тексту до заголовку.

При цьому, визначення властивостей *Paragraph* надало можливість для формування структури документу, а обробка властивостей елементів *TextRange* визначила необхідний для програмної обробки контент, що дозволило визначити множини ключових слів за допомогою методу дисперсійного оцінювання.

За результатами використання розширення Spire.Doc.dll в розробленому програмному комплексі встановлено, що дана бібліотека надає достатній інструментарій для роботи з цифровими документами навчальних матеріалів у рамках розглянутих актуальних задач, й може бути ефективно використана в реалізації інформаційних технологій для автоматизації роботи з навчальними матеріалами.

Висновки

Отже, у статті було досліджено проблему автоматизації роботи з цифровими документами навчальних матеріалів у задачах визначення структури змістовних блоків у цифровому документі навчального матеріалу та пошуку ключових термінів у контенті навчального матеріалу. Встановлено, що для реалізації програмної обробки цифрових документів є доцільним використання спеціалізованих програмних комплексів, що надають необхідний інструментарій для програмної роботи з контентом відповідних файлів.

З метою визначення найбільш ефективного програмного розширення було проведено аналіз сучасних існуючих спеціалізованих програмних розширень для автоматизації обробки цифрових документів: Microsoft.Office.Interap.Word.dll, DocumentFormat.OpenXml.dll та Spire.Doc.dll. В процесі аналізу встановлено, що бібліотека Spire.Doc.dll є оптимальним варіантом для використання при автоматизації обробки цифрових документів. Встановлено, що перенесення функцій автоматичного співставлення стилів текстових блоків їх властивостям з рівня функціоналу програмного коду застосунка на рівень функціоналу бібліотеки дозволяє спростити як роботу застосунка з цифровим документом, так і процес програмування.

Розглянуто практичні особливості використання розширення Spire.Doc.dll при роботі з цифровими документами .DOCX. З метою визначення можливості застосування обраного інструменту в задачах роботи з цифровими документами було проведено його практичну апробацію в складі програмної системи для вирішення прикладної задачі побудови структури цифрового документу та пошуку ключових слів у його контенті. В результаті встановлено можливість та достатню ефективність використання розширення Spire.Doc.dll для роботи з цифровими документами навчальних матеріалів.

Подальші дослідження спрямовані на впровадження розширення Spire.Doc.dll в розробку автоматизованих систем роботи з цифровими документами навчальних матеріалів для вирішення прикладних задач.

Література

1. 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.

2. Бармак О. В. Інформаційна технологія автоматизованого визначення термінів у навчальних матеріалах / О. В. Бармак, О. В. Мазурець // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – Хмельницький, 2015. – № 2. – С. 94–102.

3. Коренчук О. В. Система інтелектуального аналізу відповідності лекційних матеріалів навчальних

дисциплін стандартам освіти / О. В. Коренчук, О. В. Мазурець // Збірник наукових праць за матеріалами восьмої міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних технологій 2014». – Хмельницький, 2014. – С. 191–201.

4. Поліщук А. О. Інформаційна технологія автоматизації аналізу відповідності тестових завдань лекційним матеріалам навчальних дисциплін / А. О. Поліщук, О. В. Мазурець // Збірник наукових праць за матеріалами дев'ятої міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних технологій 2015». – Хмельницький, 2015. – С. 207–218.

5. Бармак О. В. Інформаційна технологія автоматизованого формування тестових завдань / О. В. Бармак, О. В. Мазурець, В. І. Кліменко // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2017. – № 5. – С. 93–103.

6. Бармак О. В. Застосування інформаційної технології гнучкого тестування рівня знань у середовищі Moodle / О. В. Бармак, О. В. Мазурець, А. О. Матвійчук // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2017. – № 3. – С. 103–115.

7. Бармак О. В. Інформаційна технологія автоматизованого анотування та реферування цифрових текстів / О. В. Бармак, О. В. Мазурець, А. В. Живілік // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2017. – № 4. – С. 147–158.

8. Considerations for server-side Automation of Office [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://support.microsoft.com/en-us/help/257757/considerations-for-server-side-automation-of-office/

9. International Organization for Standardization - Open XML file formatsb [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.iso.org/search/x/query/Open%2520XML

10. Spire.Doc for .NET [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.nuget.org/packages/Spire.Doc/

11. International Organization for Standardization - Open XML file formatsb [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.iso.org/search/x/query/Open%2520XML

12. Office Open XML [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/Office_Open_XML

13. How to automate Microsoft Excel from Microsoft Visual C#.NET [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://support.microsoft.com/en-us/help/302084/how-to-automate-microsoft-excel-from-microsoft-visual-c--net

14. DocX for creates or modifies Microsoft Word files [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://github.com/xceedsoftware/DocX

15. Free Spire.Doc for .NET [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.e-iceblue.com/Introduce/free-doc-component.html

References

1. Mazurets O. V. Ontologichiy pidhid do pobudovi semantichnoi modely navchalnih materialiv / O. V. Mazurets // Naukovyy zhurnal „Herald of Khmelnytskyi National University" seriya: Tekhnichni nauky. Khmelnytsky, 2017, № 6. – S. 223-229.

2. Barmak O. V., Mazurets O. V. Informatsiyna tekhnolohiya avtomatyzovanoho vyznachennya terminiv u navchalnykh materialakh / O. V. Barmak, O. V. Mazurets // Mizhnarodnyy naukovo-tekhnichnyy zhurnal «Vymiryuvalna ta obchyslyuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh» – Khmelnytsky, 2015. – №2. – C.94–102.

3. Korenchuk O. V., Mazurets O. V. Systema intelektualnoho analizu vidpovidnosti lektsiynykh materialiv navchalnykh dystsyplin standartam osvity / O. V. Korenchuk, O. V. Mazurets // Zbirnyk naukovykh prats za materialamy vosmoyi mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi «Aktualni problemy kompyuternykh tekhnolohiy 2014». Khmelnytsky – 2014. – S.191-201.

4. Polishchuk A. O., Mazurets O. V. Informatsiyna tekhnolohiya avtomatyzatsiyi analizu vidpovidnosti testovykh zavdan lektsiynym materialam navchalnykh dystsyplin / A. O. Polishchuk, O. V. Mazurets // Zbirnyk naukovykh prats za materialamy devyatoyi mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi «Aktualni problemy kompyuternykh tekhnolohiy 2015». Khmelnytsky – 2015. – S.207-218.

5. Barmak O. V., Mazurets O. V., Klimenko V. I. Informatsiyna tekhnolohiya avtomatyzovanoho formuvannya testovykh zavdan / O. V. Barmak, O. V. Mazurets, V. I. Klimenko // Naukovyy zhurnal „Herald of Khmelnytskyi National University" seriya: Tekhnichni nauky. Khmelnytsky, 2017, № 5. – S.93-103.

6. Barmak O. V., Mazurets O. V., Matviychuk A. O. Zastosuvannya informatsiynoyi tekhnolohiyi hnuchkoho testuvannya rivnya znan u seredovyshchi Moodle / O. V. Barmak, O. V. Mazurets, A. O. Matviychuk // Naukovyy zhurnal „Herald of Khmelnytskyi National University" seriya: Tekhnichni nauky. Khmelnytsky, 2017, №3. – S.103-115.

7. Barmak O. V., Mazurets O. V., Zhyvilik A. V. Informatsiyna tekhnolohiya avtomatyzovanoho anotuvannya ta referuvannya tsyfrovykh tekstiv / O. V. Barmak, O. V. Mazurets, A. V. Zhyvilik // Naukovyy zhurnal „Herald of Khmelnytskyi National University" seriya: Tekhnichni nauky. Khmelnytsky, 2017, № 4. – S. 147-158.

8. Considerations for server-side Automation of Office URL: https://support.microsoft.com/en-us/help/257757/considerations-for-server-side-automation-of-office/

9. International Organization for Standardization - Open XML file formatsb. URL: https://www.iso.org/search/x/query/Open%2520XML

10. Spire.Doc for .NET URL: https://www.nuget.org/packages/Spire.Doc/

11. International Organization for Standardization - Open XML file formatsb. URL: https://www.iso.org/search/x/query/Open%2520XML

12. Office Open XML. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Office_Open_XML

13. How to automate Microsoft Excel from Microsoft Visual C#.NET. URL: https://support.microsoft.com/en-us/help/302084/how-to-automate-microsoft-excel-from-microsoft-visual-c--net

14. DocX for creates or modifies Microsoft Word files. URL: https://github.com/xceedsoftware/DocX

15. Free Spire.Doc for .NET. URL: https://www.e-iceblue.com/Introduce/free-doc-component.html

Рецензія/Peer review : 19.01.2018 р. Надрукована/Printed :28.01.2018 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК 004.4

С.С. ПЕТРОВСЬКИЙ
Хмельницький національний університет

АНАЛІЗ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ СЕРЕДНІХ ЗАГАЛЬНООСВІТНІХ ШКІЛ

У статті розглядаються особливості розробки електронного документообігу для загальноосвітніх шкіл на основі існуючих хмарних технологій і веб-сервісів онлайн-офіс. Автор пропонує авторську методику розробки таких систем для шкіл на основі інтернет-сервісів.

Ключові слова: *хмарні технології, онлайн-офіс, електронний документообіг, освіта.*

S.S. PETROVSKY
Khmelnytskyi National University

ANALYSIS AND OUTLOOK THE USE OF CLOUD TECHNOLOGIES TO MANAGE THE SECONDARY SCHOOL

The article discusses the features of the development of electronic document management for schools on the basis of existing cloud technologies and Web services on-line office. The authors offer a methodology to develop such systems for schools on the basis of the available Internet services. The article concludes that cloud technologies enable pupils to communicate and work collaboratively with an ever expanding circle of peers, regardless of their location. These technologies deliver educational materials in the most economical and reliable way, differing in their ease of distribution and updating. It is cloud technologies that allow knowledge to overcome existing barriers: geographical, technological, social, national, mental. Cloud technologies offer an alternative to traditional forms of management and organization of the learning process, creating opportunities for distance learning, interactive lessons and collective teaching. The introduction of cloud technologies will not only reduce the cost of acquiring the necessary software, but will increase the quality and efficiency of the learning process, but will also prepare the student for life in the modern information society.

Keywords*: cloud technology, online office, electronic document management, and education.*

Постановка проблеми. Сучасні темпи технологічного та інформаційного розвитку суспільства визначають постановку задачі організації ефективного документообігу загальноосвітніх шкіл з можливістю отримання інформації в реальному часі для прийняття науково обґрунтованих управлінських рішень. Для якісного проведення навчально-виховного процесу і використання в ньому можливостей дистанційної освіти також необхідна система електронного документообігу [6–8].

Аналіз останніх досліджень. Розглянемо сутність термінів «хмарне сховище даних» та «онлайн-офіс». Хмарне сховище даних-це модель онлайн-сховища, в якому дані зберігаються на розподілених у мережі серверах, що надаються в користування клієнтам, третьою стороною. На відміну від моделі зберігання даних на власних виділених серверах, кількість або якась внутрішня структура серверів клієнту, в загальному випадку, не видно. Дані зберігаються й обробляються у так званій хмарі, яке являє собою один великий віртуальний сервер [1].

До переваг хмарних сховищ можна віднести те, що клієнт платить тільки за те місце в сховище, а не за оренду сервера, всі ресурси якого він може і не використати. Клієнту немає необхідності займатися придбанням, підтримкою та обслуговуванням власної інфраструктури зі зберігання даних, що, в кінцевому рахунку, зменшує собівартість використання хмарного сховища. Всі процедури по резервуванню та збереженню цілісності даних виробляються провайдером хмарного центру.

Спираючись на проведений аналіз можна виділити такі переваги, які надають хмарні технології їх використання – доступність, мобільність, економічність, орендність, гнучкість, висока технологічність, надійність [9].

Онлайн-офіс це набір веб-сервісів у вигляді програмного забезпечення, що надається послуга. Набір послуг, веб-служб включає всі основні можливості традиційних офісних пакетів (текстовий редактор, електронні таблиці, програма для створення презентацій, планувальники справ тощо). Онлайн-офіс доступний з будь-якого комп'ютера, у якого є доступ в Інтернет, і використовує можливості кросплатформеності. Це дозволяє користувачам мати доступ до офісу з будь-якої точки світу і в будь-який час, дає можливість для спільної роботи над проектами [2].

Опер на вище викладені факти, можемо виділити наступні програми продукти, які лідирують у цій галузі:

• Компанія «Google» (Google Диск, Google Документи);

• Компанія «Microsoft» (SkyDrive Для Майкрософт Офіс 365).

Формулювання цілей статті (Постановка завдання). Провести порівняльний аналіз можливостей та послуг програмних продуктів для розробки систем електронного документообігу загальноосвітніх шкіл на основі хмарних технологій.

Виклад основного матеріалу. Проведемо аналіз можливостей та послуг, які надають перелічені вище програмні продукти.

1. Google Drive, Google Docs [7].

Google Apps – служби, надаються компанією «Google» для використання свого доменного імені з деякими продуктами Google. Реєстрація доменного імені через реєстратора компанією «Google», коштує $50 в рік. Служба підтримує кілька веб-додатків з функціональністю як у традиційних офісних пакетів, і

включає: Gmail, Google Calendar, Google Talk, Google Docs і Google Sites.

Базовий пакет безкоштовний і пропонує такий же об'єм ящика електронної пошти для одного користувача, що і звичайна обліковий запис Gmail, можливість реєстрації даного пакету закрита. На базовий пакет не поширюється технічна підтримка Google.

Пакет для навчальних закладів безкоштовний, включає всі функції професійного пакета, за винятком сервісу відеохостингу, з об'ємом скриньки електронної пошти як у Базовому пакеті рис. 1.

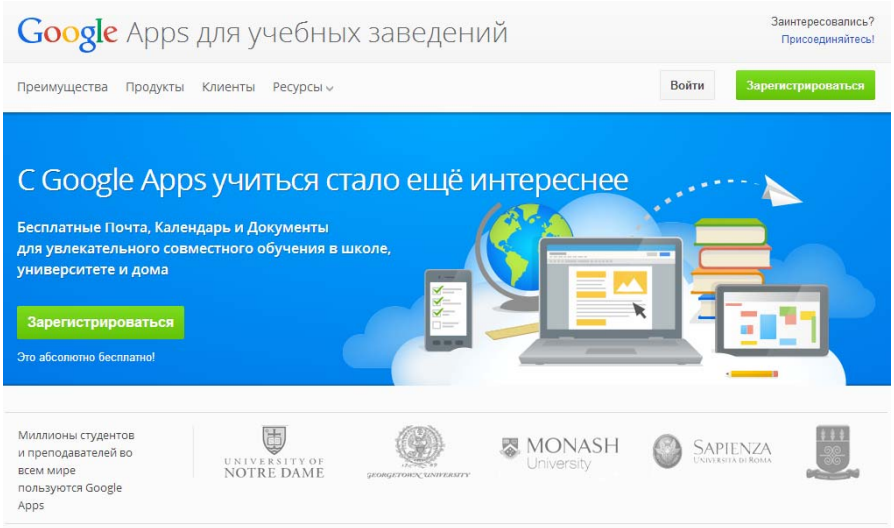


Рис. 1. Головна сторінка сайту – «Google Apps для навчальних закладів»

Розглянемо можливості Google Apps для використання у навчальному закладі. Корпоративна електронна пошта надається для всіх учнів, директора, завуча та вчителів, крім наявності власного сайту та блогу в кожного викладача. На даний момент у учнів і директорів шкіл є електронні пошти на різних сервісах таких як Yahoo.com, Gmail.com, i.ua та ін. Але корпоративної електронної пошти в освітньо-інформаційному середовищі навчального закладу поки не існує в масовій практиці.

Google Apps Можуть створюватися групи Google для мобільної комунікації в середовищі спільноти. Директор школи та його заступники можуть відправляти повідомлення всім учням школи.

Календар Google надає учневі можливість дізнатися розклад занять, а вчителям бачити графік замін уроків, оперативно одержувати інформацію і реагувати на виниклі зміни. З допомогою Диск Google є можливість в повному обсязі організувати документообіг, включаю книгу наказів з можливістю багатокористувацького доступу користувачів школи. І це тільки деякі можливості технологій Google Drive, Google Docs.

2. SkyDrive, Microsoft Office 365 [8]. SkyDrive, Microsoft Office 365 має офіційну назву – «набір для бізнес-продуктивності». В комплект увійшли всі інструменти, які фактично вже стали стандартом для роботи в будь-якому офісі:

- Пошта бізнес-класу на сервері Exchange.
- Портал Sharepoint і публічний сайт-візитка з простим конструктором сторінок.
- Месенджер Skype, що дозволяє обмінюватися не тільки текстовими фразами, але і проводити відео- та аудіо-конференції.

Microsoft Office 2016, доступний через браузер в дешевих тарифних планах і завантажувати на комп'ютери пакет Professional Plus в більш дорогих тарифних планах. Весь цей набір можна взяти в оренду з помісячною оплатою, причому складові та можливості набору можуть комбінуватися у відповідності з потребами користувачів. Єдина необхідна умова — браузер і доступ до Інтернету.

Тарифи Microsoft Office 365 для професіоналів і малого бізнесу (P1); середнього і великого бізнесу (E1, E2, E3, E4); інтернет-терміналів (K1, K2) або комп'ютерів, які часто змінюють користувачів. Додаткові тарифи можна придбати окремо, або як доповнення до тарифних планів. Для тестування пропонується безкоштовна пробна версія на 30 днів [3].

Хмарні технології дають можливість учням спілкуватися і вести спільну роботу з безперервно розширюється колом однолітків незалежно від їх місця розташування. Дані технології доставляють навчальні матеріали найбільш економічним і надійним способом, відрізняючись простотою розповсюдження і оновлення. Саме хмарні технології дозволять знання подолати існуючі бар'єри: географічні, технологічні, соціальні, національні, ментальні. Хмарні технології пропонують альтернативу традиційним формам управління і організації навчального процесу, створюючи можливості для дистанційного навчання, інтерактивних занять і колективного викладання. Впровадження хмарних технологій не тільки знизить витрати на придбання необхідного програмного забезпечення, а підвищить якість та ефективність навчального процесу, але і підготує учня до життя в сучасному інформаційному суспільстві.

Висновки. Порівняльний аналіз цих двох напрямків хмарних технологій від компаній «Microsoft» і «Google» для освіти можна дає можливість зробити наступні висновки. Найбільш підходящою за критерієм ціна–якість є технологія компанії «Google», яка дає більше можливостей при кращий використанні основних компонентів для загальноосвітніх шкіл. Причому немає необхідності встановлювати локальне програмне забезпечення. Зазначимо, що обсяг місця під файли користувача в хмарному сервісі компаній «Майкрософт» є обмеженим у безкоштовній версії, а в «Google» необмежений для файлів у внутрішньому форматі.

Викладений аналіз можливостей та послуг, які надають розглянуті програмні продукти дозволяють зробити розумний вибір для організації електронного документообігу загальноосвітніх шкіл. Для організації електронного документа найбільш доцільним є застосування технології від компанії «Google» (Google диск, документи Google).

Література

1. Хмарне сховище даних [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%85%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D1%89%D0%B5_%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85

2. Онлайн-офіс [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BD%D0%BB%D0%B0%D0%B9%D0%BD-%D0%BE%D1%84%D0%B8%D1%81

3. Пропозиції Microsoft для шкіл [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.microsoft.com/Rus/Education/PIL/default.aspx

4. Калинина Л. Содержание и структура курса «Использование Google-сервисов в методической работе учителя» и особенности его реализации в системе повышения квалификации / Л. Калинина, М. Носкова // Сентябрь. Спецвыпуск. – 2013. – С. 83–93.

5. Положення про дистанційне навчання // Офіційний сайт Українського інституту інформаційних технологій в освіті [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://udec.ntu-kpi.kiev.ua

6. Сокуренко В. И. Особенности внедрения дистанционного обучения для технических специальностей [Електронний ресурс] / Сокуренко В. И., Огданский И. Ф., Папирнык Р. Б., Солод Л. В. – Режим доступу : http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Vpabia/2009_2/statii/UDK%20378.pdf

7. Google Apps для освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.google.com/intx/ru/enterprise/apps/education/

8. Office 365 для навчальних закладів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://office.microsoft.com/ru-ru/academic/

9. Бизнес в облаках. Чем полезны облачные технологии для предпринимателя [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://kontur.ru/articles/225

References

1. Khmarne skhovyshche danykh. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%85%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D1%89%D0%B5_%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85

2. Onlain-ofis. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BD%D0%BB%D0%B0%D0%B9%D0%BD-%D0%BE%D1%84%D0%B8%D1%81

3. Propozytsii Microsoft dlia shkil. URL: http://www.microsoft.com/Rus/Education/PIL/default.aspx

4. Kalynyna L., Noskova N. Soderzhanye y struktura kursa «Yspolzovanye Google-servysov v metodycheskoi rabote uchytelia» y osobennosty eho realyzatsyy v systeme povyshenyia kvalyfykatsyy / L. Kalynyna, M. Noskova // Sentiabr. - Spetsvypusk 2013. - S. 83-93.

5. Polozhennia pro dystantsiine navchannia // Ofitsiinyi sait Ukrainskoho instytutu informatsiinykh tekhnolohii v osviti. URL: http://udec.ntu-kpi.kiev.ua

6. Sokurenko V. Y., Ohdanskyi Y. F., Papyrnyk R. B., Solod L. V. Osobennosty vnedrenyia dystantsyonnoho obuchenyia dlia tekhnycheskykh spetsyalnostei. URL: http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Vpabia/2009_2/statii/UDK%20378.pdf

7. Google Apps dlia osvity. URL: http://www.google.com/intx/ru/enterprise/apps/education/

8. Office 365 dlia navchalnykh zakladiv. URL: http://office.microsoft.com/ru-ru/academic/

9. Byznes v oblakakh. Chem polezny oblachnye tekhnolohyy dlia predprynymatelia. URL: https://kontur.ru/articles/225

Рецензія/Peer review : 17.01.2018 р. Надрукована/Printed :31.01.2018 р.
Рецензент: д. т. н., проф. Сорокатий Р.В.

УДК 621.391

І.І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ
Національна академія Державної прикордонної служби, м. Хмельницький
А.В. ТКАЧУК
Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТАНЬ ОПТИМАЛЬНОГО ВИБОРУ МІРНОСТІ ДИСКРЕТНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є ПРИ ВИЯВЛЕННІ ТА РОЗРІЗНЕННІ СИГНАЛІВ НА ФОНІ БІЛОГО ШУМУ

Досліджуються питання оптимального вибору мірності дискретних систем, зокрема, алгоритму дискретного перетворення Фур'є, при побудові пристроїв виявлення вузькосмугових сигналів та сигналів зі штучним розширенням смуги частот. На прикладі полігармонічного та дискретно-частотно модульованого сигналу показано, що існують межі мірності ДПФ, при яких досягається значний виграш у відношенні сигнал/шум. При цьому встановлено, що в умовах виявлення сигналів на фоні шуму, правильний вибір мірності дискретної системи дає змогу при незначній варіації досягти виграшу в 5 дБ і більше за значенням відношення сигнал/шум. Як показало дослідження, цього можна досягти лише з урахуванням рівня шумів на вході системи при розрахунку мірності основних алгоритмів цифрової обробки сигналів.

Ключові слова: дискретне перетворення Фур'є, частота дискретизації, сигнал Костаса, відношення сигнал/шум, кореляція.

I.I. CHESANOVSKYI
Academy of State Border Service of Ukraine, Khmelnytsky
A.V.TKACHUK
Khmelnytsky National University

PROBLEM OF ESTIMATION THE OPTIMAL SAMPLING RATE FOR DISCRETE FOURIER TRANSFORM ON APPLICATIONS TO SIGNAL DETECTION AND RESOLUTION IN THE WHITE NOISE

In order to detect signals embedded in noise often used the DFT's processing gain, because the DFT can pull signals out of background noise. This is due to the inherent correlation gain that takes place in any point of DFT. The sampling rate optimal selection is investigated, in particular, a discrete Fourier transform algorithm, during detection of narrowband and wideband signals. The article covers the modelling results concerning the influence of sampling rate on the signal/noise ratio of cross-correlation function. The model includes two Costas sequences with frequency modulation embedded in white noise. Each Costas sequence consists of eight frequency slices. Signals have different amplitudes and some time shifting. Using this model, DFT filtering properties for wideband signals are investigated in order to improve sensitivity and resolution of the receiver system. The results of the research showed that signal/noise ratio increases whenever sampling rate is increased. But the magnification of signal/noise ratio in the output of the system also depends on the level of signal/noise ratio in the input of the system. If the signal overwhelmed by noise than the gain is less. The optimal sampling rate is a compromise between computationally large processing and the resolution of system. It was found, that correct selection of sampling rate makes it possible to achieve with little variation, winning 5 dB or more in signal/noise ratio. This is important for increasing the signal detection sensitivity.

Keywords: *the discrete Fourier transform, sampling rate, Costas signal, signal-to-noise ratio, cross-correlation.*

Вступ

Дискретне перетворення Фур'є (ДПФ), в силу особливостей механізму реалізації, володіє цілим рядом додаткових властивостей, через що, не завжди використовується інженерами лише для дослідження спектральної структури сигналів. З розвитком елементної бази вузлів цифрової обробки сигналів та обчислювальної потужності спеціалізованих процесорів, цифрова обробка сигналів почала здійснюватись на проміжній частоті, що відкрило широкий спектр можливостей для більш глибокої математичної обробки. Одним із основних механізмів такої обробки, на сьогодні, є ДПФ, або модифікований «швидкий» варіант реалізації ШДПФ. Саме під час реалізації ДПФ на проміжній частоті чітко проявились його додаткові властивості, що полягають в наявності фільтруючого ефекту самого механізму математичного перетворення. Слід відмітити, що фільтруючі властивості ДПФ для гармонічних сигналів детально вивчені і описанні в ряді робіт [1, 2], автори яких з огляду на вже згаданий механізм ШДПФ, що реалізується з розмірністю $N = 2^m$ на цьому і обмежились. Проте, враховуючи лінійність ДПФ, можна очікувати, що такі ж фільтруючі властивості, можливо дещо в меншій мірі, можуть проявитись і у випадку перетворення вузькосмугових сигналів, які достатньо точно апроксимуються полігармонічними функціями. Для широкосмугових сигналів фільтруючі властивості ДПФ не настільки очевидні і потребують дослідження. Для таких сигналів вибір мірності ДПФ може мати значний вплив на відношення синал/шум в процесі математичної обробки.

Постановка задачі

В задачах цифрової обробки сигналів теоретично встановлено чіткі межі допустимих частот дискретизації при обробці сигналів на проміжній частоті, що забезпечують неспотворене і безнадлишкове їх перетворення у цифровий вигляд. Проте, при визначенні мірності основних алгоритмів спектральної і кореляційної (узгодженої) обробки, з'являється ще один важливий чинник – спектральна щільність шуму, який як правило, не враховується, хоча потенційно, його урахування може дати позитивний результат при вирішенні задачі виявлення. Для встановлення основних співвідношень між розмірністю дискретної системи

і відношенням сигнал/шум на її виході, необхідно дослідити фільтруючі властивості ДПФ, що є основою синтезу дискретних систем, в умовах перетворення суміші шуму і сигналів з різними базами. В результаті цього дослідження необхідно визначити оптимальні співвідношення між розмірністю ДПФ, базою сигналу та спектральною щільністю шумів.

Основна частина

Розглянемо модель дискретної системи обробки сигналів, в основі якої закладено алгоритми ДПФ, зворотне ДПФ (ЗДПФ) і дискретний фільтр, що схематично відображено на рис. 1 у вигляді відповідних блоків і фільтру з імпульсною характеристикою $h(t) = F^{-1}\left[h(f)\right]$. Припустимо, що дискретний фільтр в даній схемі призначений для вирішення задач, що не пов'язані з підвищенням відношення сигнал/шум (як приклад, компенсація АЧХ чи ФЧХ каналу) при цьому виграш у відношенні сигнал/шум (SNR) досягається лише за рахунок ДПФ.

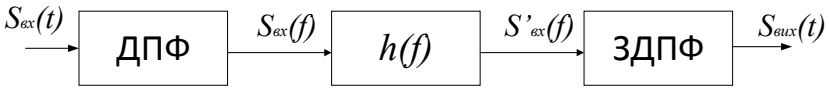


Рис. 1. Загальна схема обробки сигналів з використанням ДПФ

Таким чином, характер обробки сигналів після ДПФ визначається виглядом $h(t)$, що при відсутності цієї обробки, для дискретного випадку, має вигляд $h(t) = [1,0,0,0,0,...]$. У цьому випадку, потенційне підвищення SNR може бути досягнуто завдяки виділенню сигналу із шуму, яке виникає в наслідок внутрішньої кореляції його відліків при обчисленні *N*-точкового ДПФ. Як і в [1], введемо поняття біну ДПФ, що представляє собою ділянку дискретного спектру сигналу (рис. 2) з центром в mf_s, і шириною

$$\delta F = \frac{(m+1)f_s}{N} - \frac{mf_s}{N} = \frac{f_s}{N} = \frac{1}{t_d N} \quad (1)$$

де f_s – базова частота дискретизації сигналу.

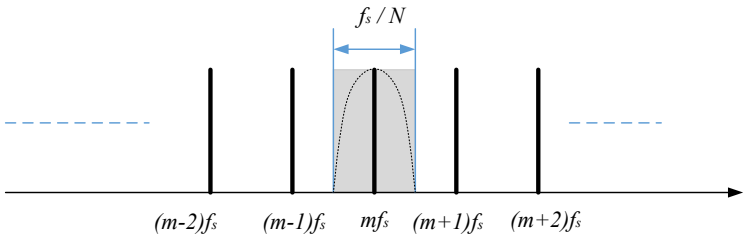


Рис. 2. Графічне зображення біна ДПФ

Враховуючи прямокутну форму імпульсів, що поступають для перетворення, один бін ДПФ може розглядатись як вузько смуговий фільтр з частотною характеристикою sinc(f). При цьому, стає очевидним наступне: значення кожного біна ДПФ визначається енергією сигналу, що попадає в смугу пропускання його частотної характеристики; при збільшенні N смуга пропускання біна зменшується, при цьому, коефіцієнт його передачі, як смугового фільтру, збільшується.

Для гармонічного сигналу, частота якого співпадає із частотою біна, справедливим є співвідношення

$$SNR_N = SNR_{N_1} + 20\log_{10}\left(\sqrt{\frac{N}{N_1}}\right) \quad (2)$$

де SNR_N – відношення сигнал/шум при *N*-точковому ДПФ; SNR_{N_1} – відношення сигнал/шум при N_1-точковому ДПФ [1].

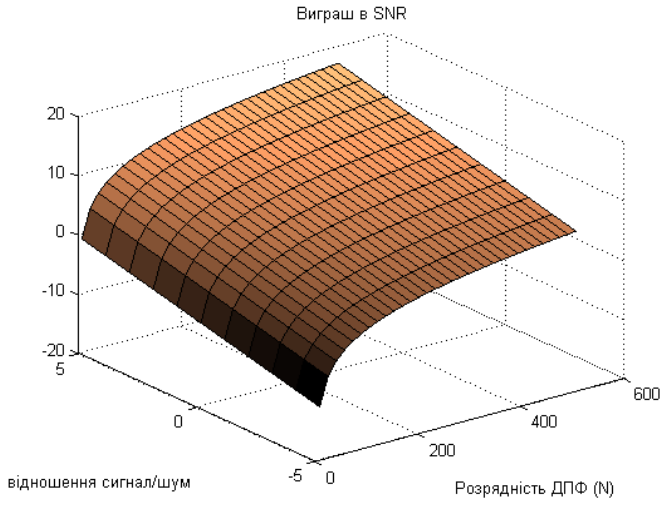


Рис. 3.Характер залежності відношення сигнал/шум від мірності ДПФ

На рис. 3 показано характер цієї залежності, тобто відношення сигнал/шум від мірності ДПФ при зміні відношення сигнал/шум на вході. Як видно з отриманої залежності, відношення сигнал/шум зі збільшенням мірності ДПФ монотонно збільшується. Це пов'язано з тим, що

середньоквадратичне значення шуму зі збільшенням мірності ДПФ збільшується у $\sqrt{N}$ разів, а величина біну ДПФ пропорційна N [1].

Характерним для отриманої залежності є те, що при не дуже низьких відношеннях сигнал/шум (-5 дБ) і малій мірності ДПФ (< 100), чутливість до зміни мірності, стосовно вихідного відношення сигнал/шум, дуже висока. Так, при підвищенні мірності з 8 до 64 (рис. 4) відбувається підвищення SNR на 9 дБ. Цей ефект широко застосовується на практиці при виявленні сигналів з вузьким спектром, коли в невеликій кількості бінів концентрується основна частка енергії сигналу. Якщо ця умова не виконується, то це однозначно повинно призвести до послаблення виграшу у відношенні сигнал/шум на виході. Відомо, що фільтруючий ефект присутній у випадку вузькосмугових сигналів, проте не відомо, чи буде спостерігатись такий ефект для широкосмугових сигналів, особливо при вирішенні задачі їх виявлення, коли відношення сигнал/шум на вході ДПФ є низьким.

Розглянемо випадок виявлення сигналу з дискретно-кодовою частотною модуляцією (ДКЧМ), математична модель якого може бути записана у вигляді:

$$U(t) = \sum_{n=1}^{8} u_0 \left[t-(n-1)\tau_0\right] e^{j\left(w(n)-1\right)\Delta\omega\left[t-(n-1)\tau_0\right]+\theta_{w(n)}}, \qquad (3)$$

де u_0 – амплітуда парціальних імпульсів; τ_0 – тривалість парціального імпульсу; $w(n)$ – частота парціального імпульсу; $\Delta\omega = 2\pi / \tau_0$ – смуга частот парціального імпульсу; $\theta_{w(n)}$ – початкова фаза парціального імпульсу ДКЧМ сигналу [3,4].

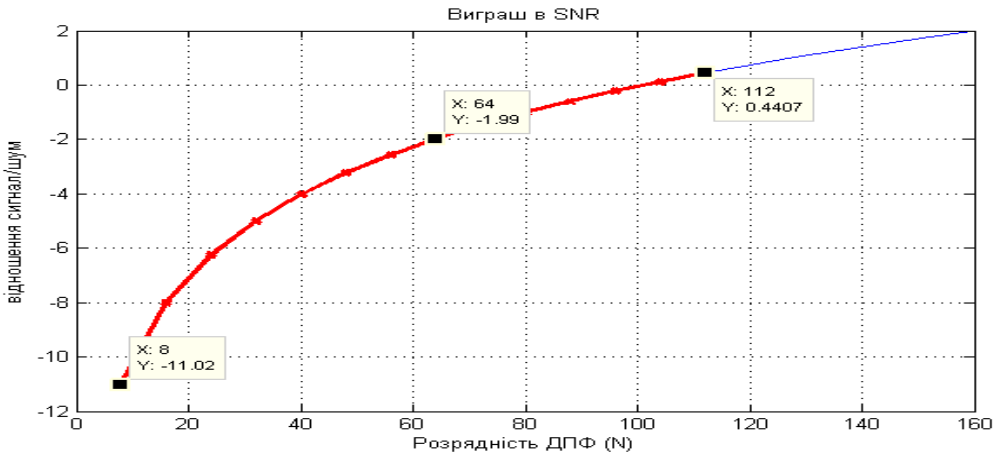


Рис. 4. Залежність SNR від мірності ДПФ при фіксованому SNR на вході

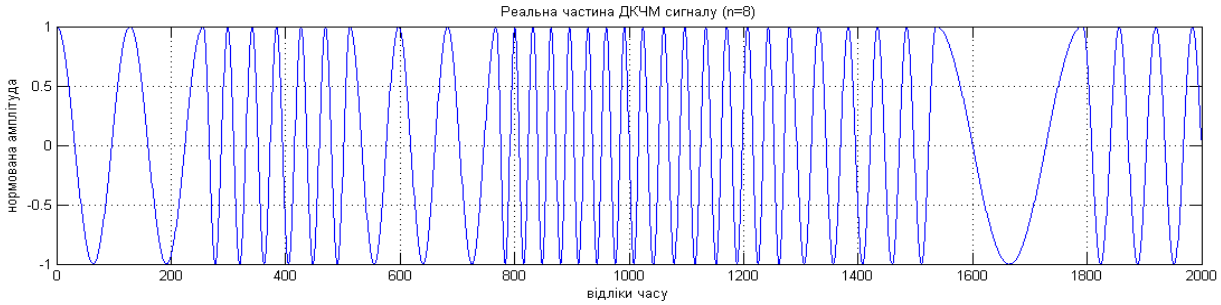
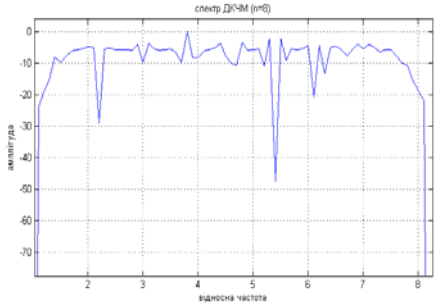
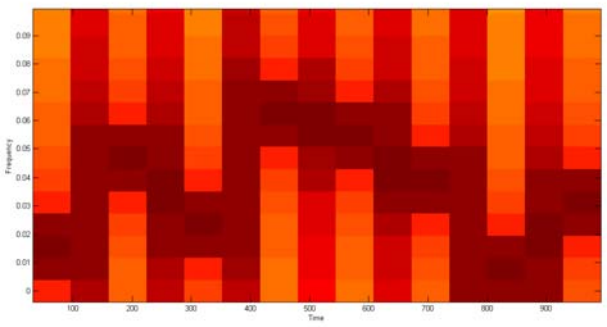


Рис. 5. Дійсна частина ДКЧМ сигналу



а)



б)

Рис. 6. Спектр (а) і спектрограма (б) ДКЧМ (n=8) сигналу

Для проведення дослідження обрана модель сигналу (рис. 5) з ДКЧМ 8-розмірною послідовністю Костаса: $w = \{2, 6, 3, 8, 7, 5, 1, 4\}$. Спектр такого сигналу рівномірно розподілений в смузі частот між 1 і 8, що добре видно з рис. 6, на якому представлено спектр і спектрограму змодельованого ДКЧМ сигналу.

Для дослідження впливу мірності ДПФ при виявленні такого типу сигналів було проведено імітаційне моделювання за схемою, що приведена на рис. 7.

Дана схема імітує алгоритм виявлення ДКЧМ сигналів на фоні шуму. При чому, в якості пристрою попередньої обробки використано алгоритм ДПФ і ЗДПФ, фільтруючі властивості яких потрібно дослідити.

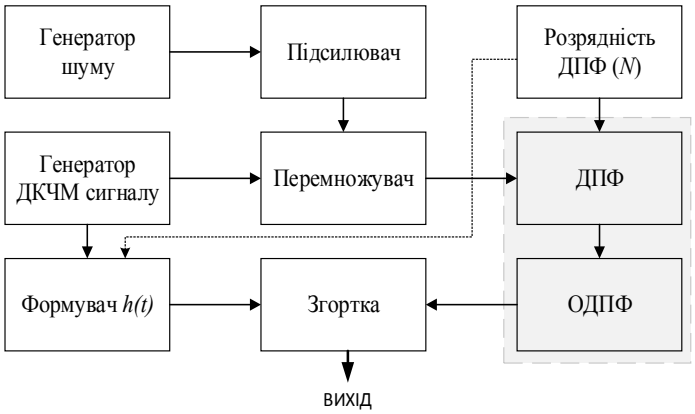
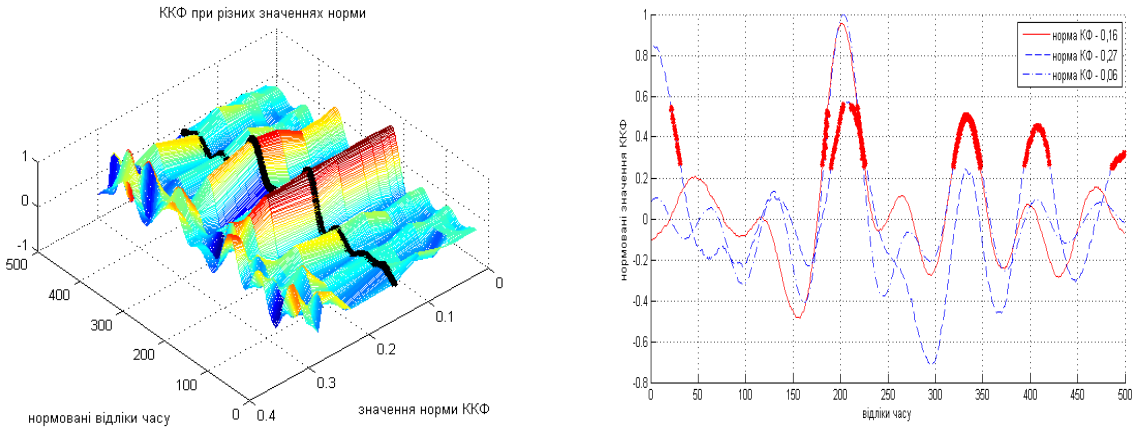


Рис. 7. Структурна схема імітаційної моделі

Для більш якісної оцінки фільтруючих властивостей ДПФ на вході імітаційної моделі синтезовано послідовність із двох однакових сигналів Костаса з неперервною фазою, що мають амплітуди A_1 та A_2 у співвідношенні $A_1=2A_2$. Крім того в сигнал внесена часова затримка, що складає для першого тривалість одного парціального імпульсу а для другого 1,25 тривалості парціального імпульсу.

Для оцінки ефективності запропонованого підходу, в роботі використано значення норми різниці кроскореляційної і автокореляційної функції сигналу з шумом і «чистого» сигналу відповідно. Для визначення граничного значення цього показника, було проведено ряд імітаційних експериментів з використанням приведеної на рис. 7 імітаційної моделі, в результаті яких було встановлено, що при заданих вихідних умовах, два окремих піки крос кореляційної функції (рис. 8) стійко спостерігаються при значенні норми на рівні не вище 0,16, що продемонстровано на відповідних залежностях та графіках.



а) б)

Рис. 8. Характер залежності (а) і його зріз для різних значень норми ККФ

Для більш об'єктивної оцінки впливу мірності ДПФ на ефективність виявлення сигналів з ДКЧМ, на прикладі 8-розрядного сигналу Костаса, було отримано залежність норми ККФ від мірності ДПФ при різних значеннях відношення сигнал/шум на вході, що наведена на рис. 9. Як видно із наведеної залежності, у випадку сигналів з широкою смугою частот, підвищення мірності ДПФ також призводить до виграшу у відношенні сигнал/шум. При цьому, слід зазначити, що величина виграшу вже не настільки відчутна як у випадку вузько смугових сигналів, а залежність цього виграшу від мірності ДПФ носить асимптотичний характер. Залежність SNR від мірності ДПФ при фіксованому значенні норми ККФ «чистого» і зашумленого сигналів приведено на рис. 10.

На рис. 11 наведено залежність норми ККФ від зміни SNR при фіксованих значеннях мірності ДПФ.

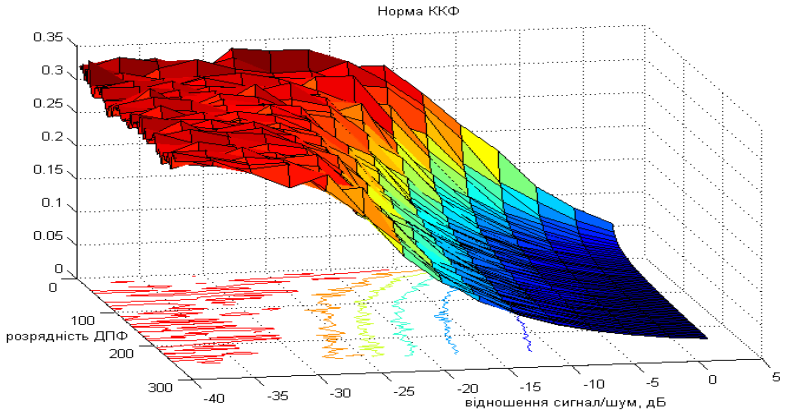


Рис. 9. Характер залежності норми ККФ від мірності ДПФ при різних значеннях сигнал/шум

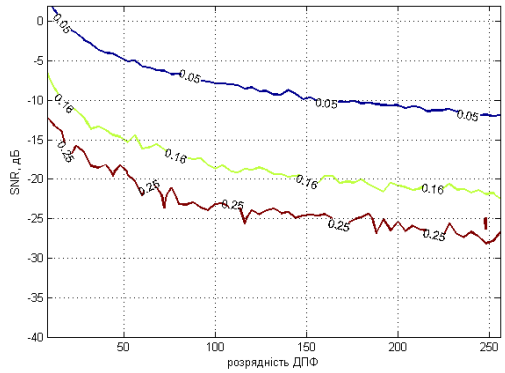


Рис. 10. Залежність відношення сигнал/шум від мірності ДПФ

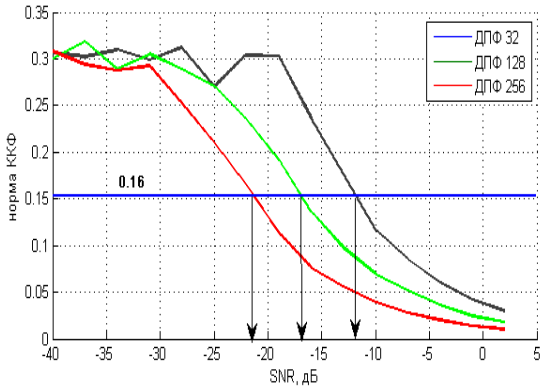


Рис. 11. Залежність норми ККФ від відношення сигнал/шум

Висновки

Аналіз отриманих графіків підтверджує зроблені припущення, щодо наявності оптимального значення мірності ДПФ для сигналів заданого типу при визначеному відношенні сигнал/шум. При цьому, як видно на рис. 11, рівень 0,16 для значення норми ККФ було вибрано також не випадково – він відповідає максимальному значенню модуля похідної по SNR, що потенційно відкриває шлях для побудови алгоритму автоматичного пошуку і регулювання мірності ДПФ при виявленні сигналів на фоні білого шуму.

Література

1. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов / Ричард Лайонс ; перев. с англ. / под ред. А.А. Бритова. – 2-е изд. – М. : Бином-Пресс, 2006. – 656 с.

2. Оппенгейм А Цифровая обработка сигналов / А.Оппенгейм, Р. Шафер ; перев. с англ. С.А. Кулешова. – Москва : Техносфера, 2006. – 856 с.

3. Levanon N. Radar Signals / Nadav Levanon, Eli Mozeson. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2004. – 411 p.

4. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов / Л.Е. Варакин. – Москва : Советское радио, 1970. – 376 с.

References

1. Laions R. Tsyfrovaia obrabotka syhnalov / Rychard Laions ; perev. s anhl. / pod red. A.A. Brytova. – 2-e yzd. – M. : Bynom-Press, 2006. – 656 s.

2. Oppenheim A Tsyfrovaia obrabotka syhnalov / A.Oppenheim, R. Shafer ; perev. s anhl. S.A. Kuleshova. – Moskva : Tekhnosfera, 2006. – 856 s.

3. Levanon N. Radar Signals / Nadav Levanon, Eli Mozeson. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2004. – 411 p.

4. Varakyn L.E. Teoryia slozhnыkh syhnalov / L.E. Varakyn. – Moskva : Sovetskoe radyo, 1970. – 376 s.

Рецензія/Peer review : 24.11.2017 р. Надрукована/Printed :27.01.2018 р.
Рецензент: д.т.н. Мартинюк В.В.

УДК 004.522

О.А. МЯСІЩЕВ, В.В. ШВЕЦЬ
Хмельницький національний університет

РЕЖИМИ ПОЛЬОТУ КОНТРОЛЕРІВ ПОЛЬОТУ APM 2.6 І PIXHAWK БПЛА

Розглянуто основну інформацію і технічні характеристики контролерів ArduPilot Mega APM 2.6 і Pixhawk та здійснено їх порівняння. Обґрунтовано вибір контролерів польоту ArduPilot Mega APM 2.6 і Pixhawk, а також перелічено недоліки їх використання. Наведено додатково декілька фірм і їх контролерів, які можуть використовуватися у безпілотних літальних апаратах однак не всі вони можуть виконувати поставленні задачі. Перелічено і вказано приклади використання датчиків (акселерометр, гіроскоп, барометр, магнітометр) контролерів польоту APM 2.6 і Pixhawk на основі показників яких керується алгоритм польоту Наведено приклади використання БПЛА. Розглядаються режими польоту для даних контролів як з використанням модуля GPS, так і без нього. Рекомендовано режими для обов'язкового використання без яких літальний апарат не зможе правильно функціонувати. Також приведені приклади режимів які доцільно використовувати у тих чи інших ситуаціях. Перелічено небезпечні режими при використанні яких без потрібних знань може призвести до трагедії (не змога керувати безпілотним літальним апаратом, відказ певних систем і навіть поломки апарату у деяких випадках до не змоги виправити несправності у безпілотно літальному апараті). Представлено програмне забезпечення Mission Planner для налаштування БПЛА. Наведено основні її особливості та переваги над іншим програмним забезпеченням. Показано як налаштовувати режими польоту за допомогою програми Mission Planner. Наведено як теоретичну так і практичну частину у статті із використанням детальних ілюстрацій. Перелічено списки використаної літератури у якій можна знайти більше додаткової інформації. Весь матеріал статті обґрунтовано і зроблені висновки.

Ключові слова: БПЛА, APM 2.6, Pixhawk, коптер, Mission Planner.

A.A. MYASISCHEV, V.V. SHVETS
Khmelnytsky National University

FLIGHT MODES OF FLIGHT CONTROLLERS APM 2.6 AND PIXHAWK

The main information and technical characteristics of ArduPilot Mega APM 2.6 and Pixhawk controllers are reviewed and compared. The choice of ArduPilot Mega APM 2.6 and Pixhawk Flight Controllers has been substantiated, as well as the shortcomings of their use. Several companies and their controllers, which can be used in unmanned aerial vehicles, are also listed, but not all of them can fulfil the task. Examples of use of gauges (accelerometer, gyroscope, barometer, magnetometer) of flight controllers APM 2.6 and Pixhawk are based on the indicators of which the flight algorithm is guided. Examples of UAV use are given. Flight modes for data control are considered with or without GPS module. Recommended modes for mandatory use without which the aircraft will not be able to function properly. Also provided are examples of modes that should be used in certain situations. There are dangerous modes listed, which can lead to tragedy without the necessary knowledge (it is not possible to control an unmanned aerial vehicle, refusal of certain systems and even breakdowns of the device, in some cases, it is not possible to correct a malfunction in an unmanned aerial vehicle). The Mission Planner software for the installation of UAVs is presented. The main features and advantages of other software are given. Shows how to configure flight modes using Mission Planner. The article presents both theoretical and practical part in the article using detailed illustrations. Listed lists of used literature in which you can find more information. All material of the article is substantiated and conclusions drawn.

Keywords: UAV, APM 2.6, Pixhawk, copter, Mission Planner.

Постановка задачі

Останнім часом високу ступінь інтересу викликають дрони або безпілотні літаючі апарати (БПЛА), побудовані на базі мультикоптерів. Зараз вони використовуються для дослідження місцевості, для проведення рятувальних операцій МНС, в роботі пожежних служб, військової розвідки, доставки вантажів. Також вони застосовуються фотографами та операторами для зйомок пейзажів, архітектури, відеороликів. В даний час розроблено велику кількість контролерів польоту з програмним забезпеченням. Це контролери Multiwii, ArduCopter (APM 2.6, APM 2.8), Pixhawk, контролери DJI (Naza-M Lite, DJI Naza-M V2, DJI Wookong), MicroKopter, Zero UAV X4 / X6, AutoQuad, KK., XAircraft та ін.

В залежно від використання БПЛА, необхідно правильно вибрати польотний контролер спільно з програмним забезпеченням для його функціонування. Так як в подальшому будуть розглядатися рижими польоту то слід розглянути контролери, які мають необхідну апаратну частину (акселерометр, гіроскоп та ін.) і підтримують програмне забезпечення для виконання поставлених задач. Тільки невелика частина перерахованих вище контролерів в змозі виконати поставлене завдання. Наприклад, найдешевший контролер має мінімальний набір датчиків (3-осьовий гіроскоп), мікроконтролер ATmega168 малої продуктивності, обмеженою пам'яттю і периферією, що дозволяє йому реалізувати лише режим Stabilize (в цьому режимі виконується зліт і посадка. Задіяні гіроскоп і акселерометр для утримання горизонту). Однак такі контролери не підійдуть для виконання поставленої задачі, слід підібрати щось більш досконаліше. Тому в даній статті розглядаються контролери ArduPilot Mega APM 2.6 та Pixhawk, які являються досить потужними контролерами польоту.

Виклад основного матеріалу роботи

ArduPilot Mega APM 2.6 (рис. 1) є повноцінним рішенням БПЛА (безпілотних літаючих апаратів), який заснований на швидко розвиваючій та вдосконаленій архітектурі ArduPilot Mega або «APM», відкритому проекті з 3DR робототехніки. Контролер крім радіокерованого дистанційного пілотування має масу різних польотних режимів, в тому числі і автоматичні місії, такі як політ по карті або заданому маршруту за встановленими точкам. Функція передачі телеметрії в обидві сторони дозволить управляти апаратом протягом усього польоту через смартфон, планшет або комп'ютер. А також надає можливість вести запис і переглядати технічні показники, такі як показники датчиків, GPS та інше.

ArduPilot Mega APM 2.6 має такий набір датчиків: акселерометр, гіроскоп, барометр, магнітометр на основі показників яких керується алгоритм польоту.

Основні особливості контролеру польоту APM 2.6:

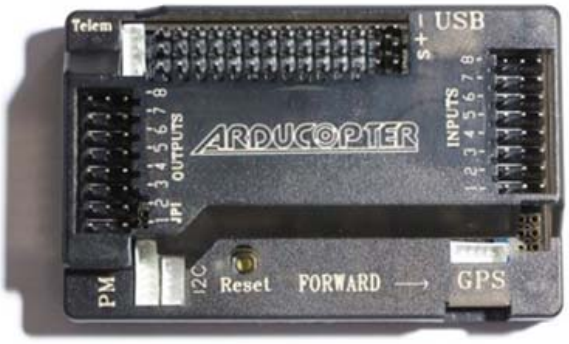


Рис. 1. контролер APM 2.6

- система стабілізації з можливістю повітряної акробатики;
- утримання позиції по GPS, політ по точках і повернення на точку старту;
- можливість використання інфрачервоного датчика для обходу перешкод;
- підтримка ультразвукового датчика (Sonar sensor) для автоматичного зльоту і посадки;
- управління двигунами з використанням дешевих регуляторів швидкості (ESC);
- власна система стабілізації для камери (функція контролера підвісу);
- радіозв'язок і телеметрія з борта;
- підтримка безлічі рам і конфігурацій літаючих апаратів;
- підтримка датчика рівня заряду батареї;
- настроюється світлова індикація при польотах;
- сумісний з багатьма радіокерованими приймачами PWM і PPM сигналів;
- підтримка OSD телеметрії (накладення на відеопередачі телеметричних даних) використовуючи протокол MAVLINK;
- конфігурації точок польоту за допомогою Google Maps;
- бортова флеш пам'ять 16Мбіт для автоматичної реєстрації даних;
- цифровий компас працює на HMC5883L (до версії 2.5.2);
- 6 ступенів свободи в InvenSense акселерометрі, гіроскоп MPU-6000;
- датчик барометричного тиску оновлений до MS5611-01BA03, від Measurement Specialties;
- контролер Atmel ATmega2560-16AU і ATMEGA32U-2 чіп для обробки і функції USB;
- можливо завантаження оновлень програмно-апаратних засобів та конфігурації.

Контролер Pixhawk (рис. 2) це нова просунута система автопілота побудована на базі проекту з відкритим кодом PX4 і вироблена компанією 3D Robotics. Pixhawk являється новішою розробкою ніж APM 2.6 і має наступні основні особливості:

- новий 32 бітний процесор ARM CortexM4, здатний запускати NuttX RTOS операційну систему в реальному часі;
- 14 PWM / сервовиходів (8 з підтримкою failsafe, 6 додаткових з підтримкою high-power);
- велика кількість варіантів підключення для додаткових периферійних пристроїв (UART, I2C, CAN);
- PPM вхід який підтримує сучасні приймачі;
- вмонтована резервна система яка спрацьовує "На льоту" або "Примусово" працює на окремому процесорі і окремій вітці живлення;
- резервна система інтегрує міксери і автопілот, а так само ручне управління;
- резервна вітка живлення живить сервоприводи або автоматично дублює основну вітку живлення;
- зовнішня кнопка безпеки для запуску двигунів;
- яскравий LED індикатор;
- гучномовець на п’єзо елементі;
- підтримка microSD карт пам'яті для системних логів;
- вбудований чорний ящик з окремим процесором для обробки автономним живленням
- можливість підключення однакових дублюючих датчиків;
- підтримка цифрових датчиків;
- відкритий вихідний код і відкрита архітектура;
- використання захисту по струму на вході і антистатику (ESD) на виході;
- сенсори від відомої компанії ST Microelectronics;
- підтримка нової інерційної системи.

Принципова відмінність від ArduPilot Mega APM 2.6, що новий контролер має високопродуктивний 32-розрядний процесор, який має значний запас пам'яті. Це робить його більш перспективним для розвитку наступних поколінь прошивок. В даний час істотною відмінністю є те, що програмне забезпечення Pixhawk, на відміну від APM 2.6 дозволяє випробувати роботу фільтра Кальмана для більш точної обробки показань сенсорів. Для користувача це може означати що такий контролер (після того як роботи над фільтром Кальмана будуть завершені) зможе працювати більш стійко в умовах вібрацій. Сенсори від відомої компанії ST Microelectronics і операційна система реального часу NuttX забезпечує неймовірну продуктивність, гнучкість і надійність при управлінні будь-яким автономним пристроєм. Також перевагами Pixhawk над

APM 2.6 є те що системи Pixhawk включають в себе багатопоточність в таких системах програмування, як Unix \ Linux, а так само оновлені режими автопілотування, таких як Lua Scripting, а спеціалізований драйвер PX4 дає більш тривалий час для польоту. Ці нововведення допоможуть розширити коло можливостей польотного пристрою.

Рис. 2. Контролер Pixhawk

Pixhawk дозволяє користувачам APM і PX4 плавно перейти до цієї системи, оскільки вона є їх логічним продовженням, а за рахунок хорошої документації та продуманої системи управління знижується бар'єр для входу нових користувачів.

Основний модуль Pixhawk може бути розширений додатковими опціями, такими як цифровий датчик повітряної швидкості, підтримкою зовнішніх різнокольорових світлодіодних індикаторів, зовнішнього компаса та ін. Вся периферія автоматично визначається і конфігурується.

Основним недоліком Pixhawk являється його ціна. ArduPilot Mega APM 2.6 являється більш дешевшою моделлю.

Отже хоч проект APM, який веде та ж група розробників, продовжує розвиватися паралельно (тобто більшість нових функцій з'являються і в APM, і в Pixhawk), очевидно, що з часом Pixhawk прийде йому на повну заміну.

Існує значна кількість польотних режимів, яка дозволяє БПЛА виконувати ряд корисних функцій. Вищи вказані контролери дуже багаті різноманітними режимами польоту, які кожен пілот може використовувати для своїх цілей.

Без використання модуля GPS можна скористатися лише декількома режимами польоту:

- Stabilize – основний режим, в якому рекомендується злітати і здійснювати посадку. Задіяні гіроскоп і акселерометр, компас додатково для контролю і корекції. Управління газом проводиться вручну – для висіння зазвичай діє правило – рівень газу 50% (це досягається при оптимальному підборі комплектуючих, або корекцією рівня під важкі коптери). Єдина допомога в цьому режимі – утримання горизонту. При максимальному відхиленні стиків крену і тангажа коптер буде відхилятися більше 45° відносно горизонту.
- Acro - режим, при якому можна досягти більш різкого і швидкого польоту. Дотримуються всі ті ж умови, що при режимі Stabilize, тільки коптер може відхилитися вже до 60°.
- AltHold – режим утримання висоти. В даному режимі додається використання бародатчика, який сприяє утриманню висоти. Для найбільш правильної роботи необхідно, щоб рівень газу висіння коптера був 50%. При положенні стики газу в 50% і включеному режимі коптер повинен сам утримувати висоту, на якій ви включили цей режим. При підвищенні або зниженні газу відбувається зміна висоти зі швидкістю, прямо пропорційною величиною відхилення стики вгору або вниз.
- PosHold – це новий режим для AC3.2. Він схожий на Loiter в тому, що коптер підтримує постійне місце розташування, напрямок і висоту, але, як правило, більш популярний, тому що пілот апаратурою прямо контролює кут нахилу коптера, забезпечуючи більш «природне» відчуття.
- Auto Tune – автопідбір значень PID. Задіяні акселерометр, гіроскоп, барометр. Коптер летить по прямій і робить нахили вправо-вліво, потім вперед-назад, потім вимикає газ і включає знову. Під час процедури допускається "підтягати" його до себе, після відпускання стіків коптер продовжує підбирати значення PID стабілізації. Після закінчення процедури коптер просто зависне і можна політати зі старими PID, так і з новими, вибравши найбільш підходящі значення.
- Land – режим автоматичної посадки в поточному положенні. Використовується бародатчик для контролю висоти.
- Simple – режим, який дозволяє «забути» про орієнтацію коптера щодо пілота. В даному режимі найважливішим є компас. При зльоті і повороті коптера навколо осі (рискання), контролер сам враховує, на скільки повернуть коптер, і сам вносить поправку в радіоуправління так, що якщо, наприклад, розгорнути коптер передом до себе, то при відхиленні стики тангажа від себе, коптер полетить на віддалення, а не на наближення. Цей режим теж хороший для початківця пілота. При використанні цього режиму важливо не змінювати своє положення (не обертатися) і пам'ятати, в якому напрямку стояв коптер перед зльотом.

При наявності модуля GPS можна скористатися додатковими режимами:

- Loiter – режим утримання точки (по координаті і висоті). Режим добре підходить для навчання польотів, фото та відеозйомки.
- RTL (Return To Launch) – повернутися додому, в точку зльоту.

- Brake – режим зупиняє політ коптера як можна швидше, використовуючи режим Loiter. Поки режим включений – дії пілота ігноруються.
- Auto – політ по точкам місії. Місія може бути створена вручну за допомогою програмного забезпечення наземної станції (комп'ютер) перед польотом, а також можна додати точки, використовуючи додатковий тумблер на радіоуправлінні.
- Position – утримання позиції (тільки по координаті). Режим добре підходить для фото и відеозйомки.
- Drift – польотний режим, в якому "заносить філейну частину коптера". Задаючи поворот стиком YAW, легкий нахил по ролу закладається сам, як ніби ми летимо на літаку і повертаємо елеронами.
- Sport – даний режим також відомий, як "контрольована стабілізація" сумісно з утриманням висоти. Він був розроблений, щоб бути корисним для польотів FPV і зйомок або польотах на майданчиках, тому що ви можете встановити апарат під певним кутом нахилу і він буде утримувати цей кут. Коптер не буде нахилятися більше 45 градусів.
- Circle – політ по окружності носом до центру. Дозволяє автоматично облітати який-небудь об'єкт кругом.
- Throw – це небезпечний режим польоту дозволяє пілоту кинути коптер у повітря (або скинути коптер), щоб запустити двигуни. Будучи в повітрі, режим ігнорує – дії пілота.
- FailSafe – режим рятування, який відправить коптер летіти додому. Режим можна налаштувати на включення при спрацюванні одного/декількох умов, таких як: втрати сигналу телеметрії, низький рівень заряду акумулятора. При втраті сигналу GPS можна виконати режим Land.
- Guided – політ по команді, даної з наземної станції . Задається точка на карті і нажимається кнопка «Летіти сюди».
- FollowMe – політ за ведучим. Ведучим може бути ноутбук, на якому встановлений модуль GPS. Коптер буде слідувати за ведучим в тому ж напрямку і з такою швидкістю.
- Super Simple – даний режим вважають добавкою до Simple, але тут потрібно використовувати GPS. Доцільно також вважати його повноцінним режимом, оскільки його можна повісити на окремий канал (7 або 8) і не призначати в налаштуванні польотних режимів. Super Simple це режим, який до 10 м радіуса не вносить поправок в управління, а на віддалення більше 10 м працює на «притягувані додому», тому якщо стик тангажа тягнуть на себе, то коптер летить до місця точки. Більше 10 метрів також не важливо, як коптер орієнтований, то працює. як Simple. Зручно, якщо «зарулилися».

Перед тим як спробувати ці режими – нам спочатку їх необхідно налаштувати. Налаштування здійснюється через програму Mission Planner від команди DIY drones. За допомогою даної програми проводиться первинна настройка і програмування плати. Можливості програмного забезпечення перевершують багато платні аналогічні програми, воно дозволяє робити як тонке налаштування вашого апарату, так і швидке – за допомогою майстра, знімати показання датчиків, будувати план польоту (просто тикаємо мишкою на карті вказуючи маршрут руху апарату), симулювати політ для отримання навичок ручного управління , переглядати записи (на платі є окрема мікросхема пам'яті для запису даних польоту, так званий «чорний ящик») і багато іншого.

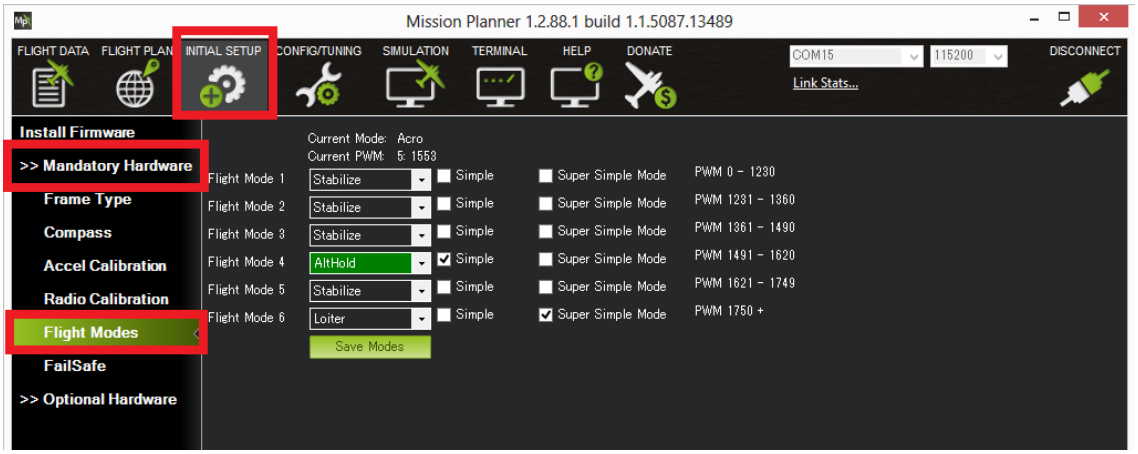


Рис. 3. Вікно налаштування в програмі Mission Planner

Отже для налаштування режимів польоту в загальному необхідно зробити наступні дії:

1) На наземній станції слід встановити програмне забезпечення Mission Planner.
2) Увімкнути радіопередатчик.
3) Підключити контролер до Mission Planner.
4) Зайти в розділ Initial Setup -> Flight Mode.
5) 5-й канал даного передатчика відповідає за режими польоту, зелена полоса в програмному забезпеченні вказує поточний режим, при переключені апаратури (радіопередатчика) зелена полоса буде переміщатися.
6) Використовуючи випадаючий список в кожному положенні, слід вибрати режим польоту. Принаймні один з режимів повинен бути режим стабілізації (Stabilize).
7) За бажанням можна поставити галочку Simple напроти кожного із режимів, що дозволить здійснювати управління наче передня частина апарата завжди направлена від Вас.

8) Коли режими встановленні, слід зберегти налаштування, натиснувши на кнопку Save Modes.

На рис. 3 наведено вікно налаштування в програмі Mission Planner.

На даному етапові налаштування режиму польоту для коптера закінчується.

Висновки

1. На даний момент контролер польоту ArduPilot Mega APM 2.6 цілком задовольняє всі необхідні умови для повноцінного функціонування БПЛА. Однак порівняння контролерів Pixhawk та APM 2.6 показало, що перший являється новішою розробкою і є більш ефективним.

2. APM 2.6 та Pixhawk мають велику кількість режимів польоту, а при використанні модуля GPS можна ще використовувати додаткові режими.

3. Для налаштування БПЛА на базі контролера APM 2.6 або Pixhawk слід використовувати програмне забезпечення Mission Planner, можливості якого перевершують багато платні аналогічні програми. Також за допомогою Mission Planner показано як слід налаштовувати режими польоту для коптера.

Література

1. Интеллектуальные робототехнические и мехатронные системы : учеб. пособие / под ред. В.И. Сырямкина. – Томск, 2017. – 256 с. – (Серия: "Интеллектуальные технические системы" (подсерия: "Когнитивная робототехника")).

2. RC Transmitter Flight Mode Configuration. URL: http://ardupilot.org/copter/docs/common-rc-transmitter-flight-mode-configuration.html, 2016.

3. Построение БПЛА на базе полетного контроллера APM 2.6. URL: https://sites.google.com/site/webstm32/bpla-apm-2-6, 2016.

4. Полетные режимы. URL: http://apmcopter.ru/apm/apm-setup/poletnye-rezhimy.html, 2014.

5. Полетный контроллер ArduPilot Mega (APM) 2.6. URL: https://mysku.ru/blog/others/29892.html, 2015.

6. Полетный контроллер ArduPilot Mega APM 2.6. URL: http://rum.kiev.ua/apm26/, 2017.

7. APM 2.6 ArduPilot контроллер полета. URL: https://flymod.net/item/apm_26_ardupilot_flight_controller, 2017.

8. Pixhawk. URL: http://multicopterwiki.ru/index.php/Pixhawk, 2017.

9. Полетный контроллер ArduPilot Pixhawk. URL: http://rccam.com.ua/catalog/flightcontrol/ardu_pixhawk_2_43.html, 2017.

10. AP-pixhawk. URL: http://hobby.msdatabase.ru/project-updates/theresultsofoursurvey/zs, 2014.

11. Pixhawk overview. URL: http://ardupilot.org/copter/docs/common-pixhawk-overview.html#common-pixhawk-overview, 2016.

12. Полетный контроллер Pixhawk 3DR. URL: https://arduino-ua.com/prod807-pixhawk, 2014.

13. Pixhawk. URL: http://rc-aviation.ru/forum/topic?id=7626, 2014.

References

1. Intellektualnye robototekhnicheskie i mekhatronnye sistemy : ucheb. posobie / pod red. V.I. Syryamkina. - Tomsk, 2017. - 256 s. (Seriya: "Intellektual'nye tekhnicheskie sistemy" (podseriya: "Kognitivnaya robototekhnika")).

2. RC Transmitter Flight Mode Configuration. [Electronic resource]. - Mode of access: http://ardupilot.org/copter/docs/common-rc-transmitter-flight-mode-configuration.html, 2016.

3. Postroenie BPLA na baze poletnogo kontrollera APM 2.6. [Electronic resource]. - Mode of access:

4. https://sites.google.com/site/webstm32/bpla-apm-2-6, 2016.

5. Poletnye rezhimy. [Electronic resource]. - Mode of access: http://apmcopter.ru/apm/apm-setup/poletnye-rezhimy.html, 2014.

6. Poletnyy kontroller ArduPilot Mega (APM) 2.6. [Electronic resource]. - Mode of access: https://mysku.ru/blog/others/29892.html, 2015.

7. Poletnyy kontroller ArduPilot Mega APM 2.6. [Electronic resource]. - Mode of access: http://rum.kiev.ua/apm26/, 2017.

8. APM 2.6 ArduPilot kontroller poleta. [Electronic resource]. - Mode of access: https://flymod.net/item/apm_26_ardupilot_flight_controller, 2017.

9. Pixhawk. [Electronic resource]. - Mode of access: http://multicopterwiki.ru/index.php/Pixhawk, 2017.

10. Poletnyy kontroller ArduPilot Pixhawk. URL: http://rccam.com.ua/catalog/flightcontrol/ardu_pixhawk_2_43.html, 2017.

11. AP-pixhawk. [Electronic resource]. - Mode of access: http://hobby.msdatabase.ru/project-updates/theresultsofoursurvey/zs, 2014.

12. Pixhawk overview. [Electronic resource]. - Mode of access: http://ardupilot.org/copter/docs/common-pixhawk-overview.html#common-pixhawk-overview, 2016.

13. Poletnyy kontroller Pixhawk 3DR. [Electronic resource]. - Mode of access: https://arduino-ua.com/prod807-pixhawk, 2014.

14. Pixhawk. [Electronic resource]. - Mode of access: http://rc-aviation.ru/forum/topic?id=7626, 2014.

Рецензія/Peer review : 07.11.2017 р. Надрукована/Printed :30.01.2018 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.382

В.С. ОСАДЧУК, О.В. ОСАДЧУК, Л.В. КРИЛИК, О.О. СЕЛЕЦЬКА, В.В. МАРТИНЮК
Вінницький національний технічний університет

МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ «ВОЛОГІСТЬ – ЧАСТОТА» З ЄМНІСНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ НА ОСНОВІ ВОЛОГОЧУТЛИВИХ ПОРИСТИХ ШАРІВ

Розроблено мікроелектронний частотний перетворювач вологості з вологочутливими конденсаторами P14 Rapid (Wired і SMD) фірми «Innovative sensor technology», вологочутливим конденсатором HCH-1000 фірми «Honeywell» та вологочутливим МДН-конденсатором НДІ «Гелій» (м. Вінниця, Україна). Експериментально встановлено, що в діапазоні вимірювання вологості 18÷99% найчутливішим є перетворювач з вологочутливим МДН-конденсатором, виготовленим на основі шару ємнісного елемента, суттєво впливає на чутливість перетворювача вологості та діапазон її вимірювання аморфного кремнію, середнє значення чутливості якого – 3000 Гц/%, діапазон зміни частоти генерації перетворювача – 261 кГц.

Ключові слова: перетворювач вологості, ємнісний елемент, функція перетворення, рівняння чутливості.

V.S. OSADCHUK, A.V. OSADCHUK, L.V. KRYLIK, O.O. SELETSKA, V.V. MARTYNYUK
Vinnytsia National Technical University

MICROELECTRONIC HUMIDITY–FREQUENCY TRANSDUCER WITH CAPACITIVE ELEMENTS BASED ON HUMIDITY SENSITIVE POROUS LAYERS

The microelectronic frequency humidity transducer with humidity-sensitive capacitors P14 Rapid (Wired and SMD) Innovative sensor technology company, humidity-sensitive capacitor HCH-1000 Honeywell company and humidity-sensitive MOS capacitor of The Scientific and Research Institute "Helium" (Vinnytsia, Ukraine) has been developed. The microelectronic frequency transducer of humidity forms a transistor structure with a negative differential resistance based on a bipolar transistor and a field two gate transistor. The capacitance of the oscillator circuit of the autogenerator is realized by the capacitive component of the total differential resistance on the electrodes of the collector of the bipolar transistor and the drain of the field two gate transistors. Passive inductance is connected to the collector circuit of the bipolar transistor. Negative differential resistance occurs at the electrodes of the collector of the bipolar transistor and the drain of the field two gate transistor when the voltage of the constant voltage source rises to the desired value. Negative differential resistance compensates for losses in the oscillatory circuit. When the humidity is applied to the humidity sensitive capacitor, the capacitive component of the impedance at the electrodes of the field-effect transistor drain and the collector of the bipolar transistor change, which causes an effective change in the frequency of oscillation circuit generation. The experimental researches show that the transducer with humidity-sensitive MOS capacitor based on amorphous silicon has the highest sensitivity in the range 18÷99% of humidity. Its average sensitivity is 3000 Hz/%, while the range of change of the oscillation frequency is 261 kHz. The essential effect of the circuit design and physical and chemical properties of humidity-sensitive layer of capacitive element on the sensitivity and measuring range of the humidity frequency transducer was proved by theoretical and experimental researching.

Keywords: humidity transducer, capacitive element, the transfer function, the equation of sensitivity.

Вступ

Сучасний розвиток промислової індустрії вимагає точного виконання технологічних процесів та їх автоматизації. На сьогодні стан економіки визначається розробкою та застосуванням автоматичних засобів технічної діагностики як машин так і обладнання, приладів неруйнівного контролю, систем перевірки якості промислової та сільськогосподарської продукції, контролю параметрів промислових середовищ та довкілля тощо. Ефективність яких, насамперед, залежить від якості первинних перетворювачів, які є основними чутливими елементами вимірювальної техніки. Відповідно до проведеного аналізу, важливою різновидністю вимірювальних первинних перетворювачів є сенсори вологості, оскільки процеси які протікають в промисловості і в повсякденному житті, залежать від вологості [1–7].

Крім того, щоб вимірювання вологості мало високу точність, необхідно застосувати цифрову обробку даних, яка забезпечить підсилення сигналу первинного перетворювача, лінеаризацію передатної характеристики і компенсує початкове зміщення та похибки, які виникають зі зміною температури навколишнього середовища та часового дрейфу.

Отже, розробка твердотільних вимірювальних сенсорів з високими метрологічними характеристиками та вихідним сигналом, незначними похибками вимірювання, є актуальною. А використання реактивних властивостей напівпровідникових структур для розробки мікроелектронних частотних перетворювачів фізичних величин є перспективним напрямком розв'язання цієї проблеми [8–11].

Теоретичні та експериментальні дослідження

Дана робота є продовженням теоретичних та експериментальних досліджень поданих нами в статті [12].

На сьогодні метою є дослідження нового схемотехнічного рішення та вплив його на чутливість до вимірювального параметра та діапазон вимірювання вологості. Нами розроблено мікроелектронний частотний перетворювач вологості у вигляді гібридної інтегральної мікросхеми [13]. Автогенераторний перетворювач утворює транзисторна структура з від'ємним опором на основі біполярного транзистора VT1 та польового двозатворного транзистора VT2. Ємність коливального контуру автогенератора реалізується ємнісною складовою повного диференційного опору на електродах колектор біполярного транзистора VT1 та стік польового двозатворного транзистора VT2. Індуктивність коливального контуру автогенератора – індуктивністю L. Резистори R_1, R_2 та R_3 утворюють дільники напруги та забезпечують режим живлення

транзисторів VT1 та VT2. Обмежувальний конденсатор С запобігає проходженню змінного струму через джерело постійної напруги. Від'ємний опір виникає на електродах колектор біполярного транзистора VT1 та стік польового двозатворного транзистора VT2 при підвищенні напруги джерела постійної напруги до потрібного значення. Він приводить до виникнення електричних коливань в контурі. При дії вологи на вологочутливий конденсатор змінюється ємнісна складова повного опору на електродах стік польового транзистора та колектор біполярного транзистора, що викликає ефективну зміну частоти генерації коливального контуру (рис. 1).

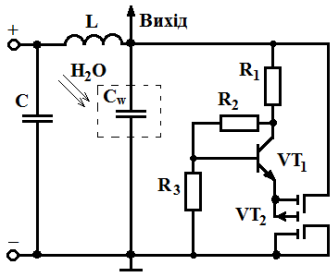


Рис. 1. Електрична схема мікроелектронного частотного перетворювача вологості з ємнісними елементами на основі вологочутливих пористих шарів

Серед великого різноманіття сенсорів вологості значний практичний інтерес набули мікроелектронні сорбційні сенсори вологості. У сенсорах адсорбційного та абсорбційного типів поглинання або виділення вологи сорбентом супроводжується зміною його маси та електрофізичних характеристик – електропровідності, діелектричної проникності тощо [1–7].

Як експериментальні вологочутливі зразки використовувались: вологочутливий МДН-конденсатор на основі аморфного кремнію, розроблений в науково-дослідному інституті (НДІ) «Гелій» (м. Вінниця, Україна); вологочутливий конденсатор НСН-1000 фірми «Honeywell»; вологочутливі конденсатори Р14 Rapid (Wired і SMD) фірми «Innovative sensor technology». Вологочутливими шарами досліджуваних конденсаторів фірм «Honeywell» та «Innovative sensor technology» є пористий полімер.

Використовуючи метод Ляпунова [14], на основі електричної схеми перетворювача (рис. 1), по колу позитивного зворотного зв'язку отримано рівняння, на основі якого визначено аналітичний вираз функції перетворення:

$$F = \frac{C(W)\cdot C_{cb}\cdot C_{eb}\cdot C_{ds} \pm \sqrt{M1+M2+M3+M4+M5}}{4\cdot\pi\cdot L\cdot C(W)\cdot C_{cb}\cdot C_{eb}\cdot C_{ds}}, \quad (1)$$

де $M1 = C(W)^2\cdot C_{cb}^2\cdot C_{eb}^2\cdot C_{ds}^2$; $M2 = 4\cdot L\cdot C(W)\cdot C_{cb}^2\cdot C_{eb}^2\cdot C_{ds}^2$; $M3 = 4\cdot L\cdot C(W)^2\cdot C_{cb}\cdot C_{eb}^2\cdot C_{ds}^2$;

$M4 = 4\cdot L\cdot C(W)^2\cdot C_{cb}^2\cdot C_{eb}^2\cdot C_{ds}$; $M5 = 4\cdot L\cdot C(W)^2\cdot C_{eb}\cdot C_{cb}^2\cdot C_{ds}^2$.

В аналітичних виразах використовувались такі позначення: L – індуктивність коливального контура; $C(W)$ – вологочутлива ємність; C_{cb} – ємність p-n-переходу колектор-база; C_{eb} – ємність p-n-переходу емітер-база; C_{ds} – ємність стік-витік.

На основі виразу (1) теоретично розраховано та експериментально досліджено функції перетворення мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливими ємнісними елементами фірм Innovative sensor technology, Honeywell (рис. 2) та вологочутливим МДН-конденсатором, розробленого в НДІ «Гелій» (рис. 3).

З рис. 2, 3 видно, що частота генерації перетворювача зменшується із збільшенням відносної вологості повітря W. Діапазони зміни частоти генерації розробленого перетворювача вологості (рис. 1) набувають таких значень:

– 84 кГц (вологочутливий конденсатор Р14 Rapid (WIRED), $W = 1 \div 100\%$);

– 75 кГц (вологочутливий конденсатор Р14 Rapid (SMD), $W = 1 \div 100\%$);

– 60 кГц (вологочутливий конденсатор НСН-1000, $W = 0 \div 100\%$);

– 261 кГц (вологочутливий МДН-конденсатор, $W = 18 \div 99\%$).

Для порівняння наведемо результати досліджень, поданих в статті [12]:

– 103 кГц (вологочутливий конденсатор Р14 Rapid (WIRED), $W = 1 \div 100\%$);

– 92 кГц (вологочутливий конденсатор Р14 Rapid (SMD), $W = 1 \div 100\%$);

– 74 кГц (вологочутливий конденсатор НСН-1000, $W = 0 \div 100\%$);

–320 кГц (вологочутливий МДН-конденсатор, $W = 18 \div 99\%$).

Отже, на основі теоретичних та експериментальних дослідженнях встановлено, що нове схемотехнічне рішення, подане на рис. 1 має вужчий діапазон вимірювання вологості в порівнянні з розробкою результати досліджень якої поданні в статті [12].

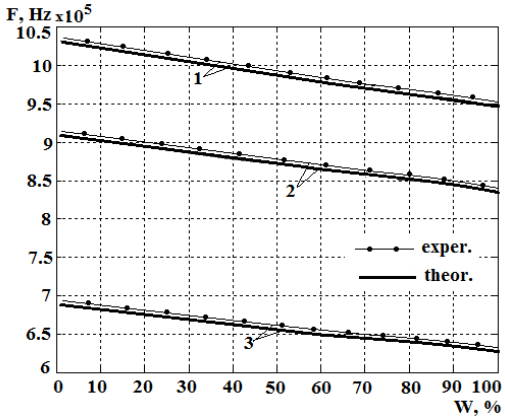


Рис. 2. Експериментальні та теоретичні залежності частоти генерації від зміни відносної вологості повітря перетворювача з вологочутливими конденсаторами: 1 – P14 Rapid (WIRED); 2 – P14 Rapid (SMD); 3 – HCH-1000

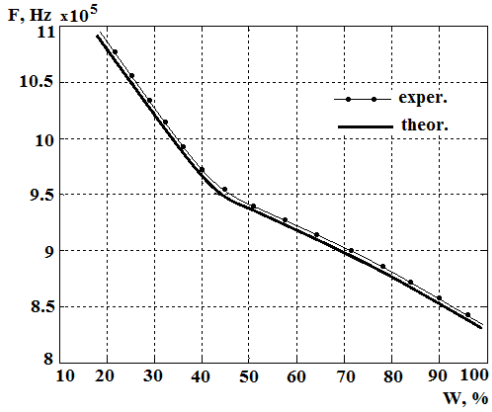


Рис. 3. Експериментальні та теоретичні залежності частоти генерації від зміни відносної вологості повітря перетворювача з вологочутливим МДН-конденсатором

На основі рівняння (1) визначено аналітичний вираз рівняння чутливості (2) розробленого перетворювача:

$$S_W = -\frac{C(W)\cdot C_{cb}\cdot C_{eb}\cdot C_{ds} \pm \sqrt{M1+M2+M3+M4+M5}\left(\frac{\partial C(W)}{\partial W}\right)}{4\cdot\pi\cdot L\cdot C(W)^2\cdot C_{cb}\cdot C_{eb}\cdot C_{ds}} +$$

$$+\frac{C_{cb}\cdot C_{eb}\cdot C_{ds}\cdot\left(\frac{\partial C(W)}{\partial W}\right)\pm\frac{N1\left(\frac{\partial C(W)}{\partial W}\right)+N2\left(\frac{\partial C(W)}{\partial W}\right)+N3\left(\frac{\partial C(W)}{\partial W}\right)+N4\left(\frac{\partial C(W)}{\partial W}\right)+N5\left(\frac{\partial C(W)}{\partial W}\right)}{2\sqrt{M1+M2+M3+M4+M5}}}{4\cdot\pi\cdot L\cdot C(W)\cdot C_{cb}\cdot C_{eb}\cdot C_{ds}}, \quad (2)$$

де $N1 = 2\cdot C(W)\cdot C_{cb}^2\cdot C_{eb}^2\cdot C_{ds}^2$; $N2 = 4\cdot L\cdot C_{cb}^2\cdot C_{eb}^2\cdot C_{ds}^2$; $N3 = 8\cdot L\cdot C(W)\cdot C_{cb}\cdot C_{eb}^2\cdot C_{ds}^2$;

$N4 = 8\cdot L\cdot C(W)\cdot C_{cb}^2\cdot C_{eb}^2\cdot C_{ds}$; $N5 = 8\cdot L\cdot C(W)\cdot C_{eb}\cdot C_{cb}^2\cdot C_{ds}^2$.

На рис. 4, 5 надано експериментальні та теоретичні залежності чутливості від зміни відносної вологості повітря розроблено перетворювача з ємнісними вологочутливими елементами WIRED, SMD, HCH-1000 та МДН-конденсатором.

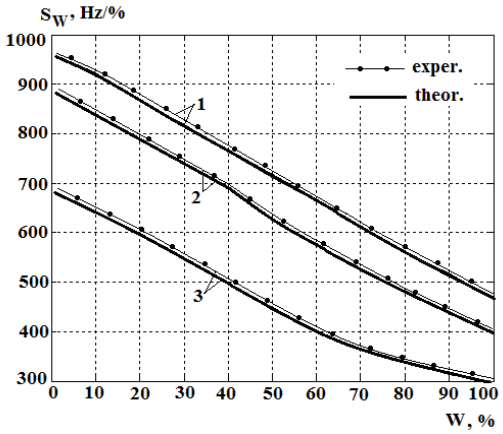


Рис. 4. Експериментальні та теоретичні залежності чутливості від зміни відносної вологості повітря перетворювача з вологочутливими конденсаторами: 1 – P14 Rapid (WIRED); 2 – P14 Rapid (SMD); 3 – HCH-1000

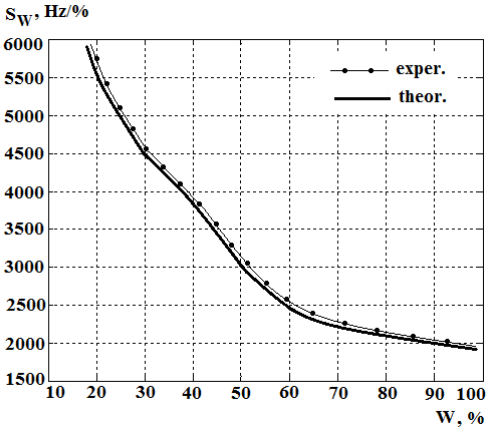


Рис. 5. Експериментальні та теоретичні залежності чутливості від зміни відносної вологості повітря перетворювача з вологочутливим МДН-конденсатором

З рис. 4, 5 видно, що чутливість розробленого перетворювача з вологочутливими конденсаторами:

– P14 Rapid (WIRED) фірми «Innovative sensor technology», в діапазоні вимірювання $W = 1 \div 100\%$ змінюється від 959 до 465 Гц/%;

– P14 Rapid (SMD) фірми «Innovative sensor technology», в тому ж діапазоні вимірювання W змінюється від 880 до 400 Гц/%; HCH-1000 фірми «Honeywell», в діапазоні вимірювання $W = 0 \div 100\%$ змінюється від 682 до 300 Гц/%;

– МДН-конденсатором НДІ «Гелій», в діапазоні вимірювання $W = 18 \div 99\%$ змінюється від 5900 до 1917 Гц/%.

Провівши порівняння з результатами досліджень поданих в статті [12]:

– P14 Rapid (WIRED) фірми «Innovative sensor technology», в діапазоні вимірювання $W = 1 \div 100\%$ чутливість змінюється від 1304 до 1000 Гц/%;

– P14 Rapid (SMD) фірми «Innovative sensor technology», в тому ж діапазоні вимірювання W – від 1077 до 822 Гц/%;

– HCH-1000 фірми «Honeywell», в діапазоні вимірювання $W = 0 \div 100\%$ – від 835 до 570 Гц/%;

– МДН-конденсатором НДІ «Гелій», в діапазоні вимірювання $W = 18 \div 99\%$ – від 5730 до 1917 Гц/%, можна зробити висновок, що нова розробка є менш чутливіша до вимірювального параметра – вологості, але має більший вихідний сигнал і кращу сумісність з мікропроцесорною системою обробки даних.

Висновки

Розроблено мікроелектронний частотний перетворювач вологості з ємнісними вологочутливими елементами фірм «Innovative sensor technology», «Honeywell» та НДІ «Гелій» м. Вінниця. Проведено дослідження електричних параметрів частотного перетворювача та розраховано його теоретичні залежності.

Експериментально встановлено, що середнє значення чутливості розробленого перетворювача з вологочутливими конденсаторами: P14 Rapid (WIRED) фірми «Innovative sensor technology», в діапазоні вимірювання $W = 1 \div 100\%$ складає 710 Гц/%; P14 Rapid (SMD) фірми «Innovative sensor technology», в тому ж діапазоні вимірювання W – 630 Гц/%; HCH-1000 фірми «Honeywell», в діапазоні вимірювання $W = 0 \div 100\%$ – 450 Гц/%. В діапазоні вимірювання вологості 18÷99% найчутливішим є перетворювач з вологочутливим МДН-конденсатором НДІ «Гелій», виготовленим на основі аморфного кремнію, середнє значення чутливості якого – 3000 Гц/%. Теоретично та експериментально доведено, що схемотехнічні рішення та фізико-хімічні властивості вологочутливого шару ємнісного елемента суттєво впливають на чутливість перетворювача вологості та діапазон її вимірювання.

Аналіз проведених теоретичних і експериментальних досліджень показав, що математична модель описує поведінку перетворювача з похибкою ±1,5%.

Література

1. Zhi, Chen. Humidity Sensors: A Review of Materials and Mechanisms / Zhi Chen, Chi Lu // Sensor Letters. – 2005. – Vol. 3. – P. 274–295. – doi:10.1166/sl.2005.045.

2. Hamid, Farahani. Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review / Hamid Farahani, Rahman Wagiran, Mohd Nizar Hamidon // Sensors. – 2014. – № 14. – P. 7881–7939. – doi:10.3390/s140507881.

3. Ashis, Tripathy. Design and Development for Capacitive Humidity Sensor Applications of Lead-Free Ca,Mg,Fe,Ti-Oxides-Based Electro-Ceramics with Improved Sensing Properties via Physisorption / Ashis Tripathy, Sumit Pramanik, Ayan Manna, Satyanarayan Bhuyan, Nabila Farhana Azrin Shah, Zamri Radzi, Noor Azuan Abu Osman // Sensors. – 2016. – № 16. – P. 1135. – doi:10.3390/s16071135.

4. Mario Pelino. Principles and applications of ceramic humidity sensors / Mario Pelino, Carlo Cantalini // Active and Passive Elec. Comp. – 1994. – Vol. 16. – P. 69–87.

5. Nathan, Lazarus. CMOS-MEMS Capacitive Humidity Sensor / Nathan Lazarus, Sarah S. Bedair, Chiung-C. Lo, and Gary K. Fedder // Journal of microelectromechanical system. – february 2010. – Vol. 19. – № 1. – P. 183–191. – doi: 10.1109/JMEMS.2009.2036584.

6. Bozhi, Yang. Compliant and Low-cost Humidity Sensors using Nano-porous Polymer Membranes / Bozhi Yang, Burak Aksak, Qiao Lin, Metin Sitti // Appeared in Sensors and Actuators B: Chemical. – 30 March 2006. – Vol. 114. – № 1. – P. 254–262.

7. Виноградов М. Емкостные датчики влажности фирмы IST AG / М. Виноградов // Компоненты и технологии. – 2011. – № 1. – С. 22–24.

8. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем : монографія / [В. С. Осадчук, О. В. Осадчук]. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ – Вінниця», 1999. – 275 с.

9. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором: монографія / [О. В. Осадчук]. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ – Вінниця», 2000. – 303 с.

10. Бабаян Р. Р. Преобразователи неэлектрических величин с частотным выходом / Р. Р. Бабаян // Приборы и системы управления. – 1996. – № 11. – С. 24–26.

11. Сенсори вологості : монографія / [В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик]. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ – Вінниця», 2003. – 208 с.

12. Osadchuk V. S. A microelectronic humidity-frequency transducer with humidity-sensitive capacitive elements / V. S. Osadchuk, A. V. Osadchuk, L. V. Krylik, O. O. Seletska // Moldavian Journal of the Physical Sciences. – Chisinau, 2017. – Volume 16, No. 1-2. – P. 94–100.

13. Пат. № 119392 України, МПК G01N 27/12 (2006.01). Пристрій для вимірювання вологості / Осадчук В. С., Осадчук О. В., Крилик Л. В., Мартинюк В. В., Білилівська О. П. – № u2017 03058 ; заявл. 31.03.2017 ; опубл. 25.09.2017, Бюл. № 18.

14. Каяцкас А. А. Основы радиоэлектроники / Каяцкас А. А. – М. : Высшая школа, 1988. – 464 с.

References

1. Zhi Chen, Chi Lu. Humidity Sensors: A Review of Materials and Mechanisms. *Sensor Letters*. 2005**.** Volume 3, pp. 274–295.

2. Hamid Farahani, Rahman Wagiran, Mohd Nizar Hamidon. Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review. *Sensors*. 2014. Volume 14. pp. 7881–7939.

3. Ashis Tripathy, Sumit Pramanik, Ayan Manna, Satyanarayan Bhuyan, Nabila Farhana Azrin Shah, Zamri Radzi, Noor Azuan Abu Osman. Design and Development for Capacitive Humidity Sensor Applications of Lead-Free Ca,Mg,Fe,Ti-Oxides-Based Electro-Ceramics with Improved Sensing Properties via Physisorption. *Sensors*. 2016. Volume 16. p. 1135.

4. Mario Pelino, Carlo Cantalini. Principles and applications of ceramic humidity sensors. *Active and Passive Elec. Comp*. 1994. Volume. 16. pp. 69–87.

5. 5 Nathan Lazarus, Sarah S. Bedair, Chiung-C. Lo, and Gary K. Fedder. CMOS-MEMS Capacitive Humidity Sensor. *Journal of microelectromechanical system*. 2010. Volume. 19. Issue 1. pp.183 –191.

6. Bozhi Yang, Burak Aksak, Qiao Lin, Metin Sitti. Compliant and Low-cost Humidity Sensors using Nano-porous Polymer Membranes. *Appeared in Sensors and Actuators B: Chemical*. 2006. Volume. 114. Issue 1. pp. 254–262

7. Vinogradov M. Emkostny`e datchiki vlazhnosti firmy` IST AG , *Komponenty` i texnologii*, 2011, No. 1, pp. 22–24.

8. Osadchuk V. S., Osadchuk O. V. Reaktyvni vlastyvosti tranzystoriv i tranzystornykh skhem : monohrafiia. Vinnytsia, «UNIVERSUM – Vinnytsia», 1999, 275p.

9. Osadchuk O. V. Mikroelektronni chastotni peretvoriuvachi na osnovi tranzystornykh struktur z vidiemnym oporom: monohrafiia. Vinnytsia, «UNIVERSUM – Vinnytsia», 2000, 303 p.

10. Babayan R. R. Preobrazovateli nee`lektricheskix velichin s chastotny`m vy`xodom , *Pribory` i sistemy` upravlenyya* 1996. No. 11, pp. 24–26.

11. Osadchuk V. S., Osadchuk O. V., Krylyk L. V. Sensory volohosti: monohrafiia. Vinnytsia , «UNIVERSUM – Vinnytsia», 2003, 208 p.

12. Osadchuk V. S., Osadchuk A. V., Krylik L. V., Seletska O. O. A microelectronic humidity-frequency transducer with humidity-sensitive capacitive elements. Chisinau. *Moldavian Journal of the Physical Sciences.* Volume 16, Issue. 1-2. pp. 94–100.

13. Osadchuk V. S., Osadchuk O. V., Krylyk L. V., Martyniuk V. V., Bilylivska O. P. *Prystrii dlia vymiriuvannia volohosti.* Pat. No.119392 Ukrainy, MPK G01N 27/12 (2006.01), Issue 18.

14. Kayatskas A. A. Osnovy` radyoe`lektroniki. Moskva, Vysshaya shkola, 1988, p. 464.

Рецензія/Peer review : 27.11.2017 р. Надрукована/Printed :29.01.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Петрук В. Г.

УДК 621.396.96

А.Ю. ВОЛОВИК, О.В. ОСАДЧУК,
М.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ, О.П. ЧЕРВАК, М.А. ШУТИЛО
Вінницький національний технічний університет

ДІАГНОСТИКА РАПТОВИХ ЗМІН У ДИНАМІЦІ ОБ'ЄКТІВ КОНТРОЛЮ

У даній статті розглядається клас лінійних стохастичних систем, динаміка яких може зазнавати епізодичних змін, але настільки рідких, що статистичні дані про частоту цих змін відсутні. За таких умов методами оптимальної фільтрації та узагальненого відношення правдоподібності розв'язується задача сукупного оцінювання стану динамічної системи, виявлення моменту появи непередбачуваних змін та їх ідентифікації.

Ключові слова: динамічні системи, фільтр Калмана, узагальнене відношення правдоподібності.

A.YU. VOLOVIK, A.V. OSADCHUK, M.V. VASYLKIVSKYI, O.P. CHERVAK, M.A. SHUTILO
Vinnytsia National Technical University

DIAGNOSTICS OF SUDDEN CHANGES IN DYNAMICS OF OBJECTS OF CONTROL

In this article the class of linear stochastic systems which dynamics can change incidentally and so seldom that statistical data on the frequency of changes are absent is considered. By results of the last researches and basic references analysis which is carried out in this direction it is revealed that used in such case the model conditional optimum Kalman's filter adjusted on a rated operating mode of controlled object creates the current assessment of a dynamic system state vector on the basis of all previous history and over time becomes too careful, inertly reacts to fast changings of a trend in separate results of supervision. In the presence of additional, real restrictions: malfunctions happen from time to time incidentally and so seldom that statistical data on the frequency of their emergence are absent; emergence of malfunctions has single character - cases of simultaneous emergence two and more malfunctions are excluded; at the disposal of the observer there is enough time for the analysis and decision-making, there is an actual problem of increase Kalman's filter sensitivity to sudden changes and application of compensation schemes. In this case this rather prime and universal model allows considering malfunctions both in a management subsystem and in a sensors subsystem which are usually modelled by jumps, shifts, or drift in separate variables state. For the solution of the specified task the following stages are used: on the basis of the assumption that malfunctions are absent the Kalman's filter is implemented; the secondary system of differential signal processing is implemented, due to emergence fault status monitoring of regarding change properties is its technical task; localization and the size caused loss estimation is carried out it for the introduction of compensation schemes in case of malfunction is detected. Use of a restriction data standard method of some last results in case of increase volume calculations in real time system. An assessment of emergence fault time to define within the data selective strobe is offered. The issue of the choice of acceptable width selective strobe is resolved by careful mathematical modelling. In such sequence methods of optimum filtering and the generalized likelihood ratio solve a problem of cumulative estimation camp of dynamic system, the emergence unforeseen changes of moment detection and identification.

Keywords: dynamic systems, Kallman's filter, generalized likelihood ratio approach.

Вступ та постановка задачі

У практичній діяльності нерідко трапляються випадки, коли несправності у підсистемах об'єкту контролю з'являються час від часу епізодично і настільки рідко, що статистичні дані про частоту їх появи відсутні. У такому разі застосування байєсового підходу, розглянутого роботах [1–3], стає неправомірним. Правда, можна скористатися правилом завдання найгіршого апріорного розподілу, яке іноді використовують у байєсовому підході та перейти до адаптивних схем оцінювання. Проте, як зазначалось у роботі [4], це призводить до значних труднощів, пов’язаних зі зберіганням на кожній ітерації неперервних апостеріорних густин розподілу ймовірностей у дискретній еквівалентній формі, які необхідні для обчислення вірогідності того, що об’єкт контролю працює справно. Окрім того, як показали результати моделювання [4], процес адаптації проходить надзвичайно повільно і у багатьох випадках, наприклад, для високо динамічних об'єктів, це неприпустимо. Таким чином, у арсеналі проектувальника залишається невеликий вибір – модельно-умовний фільтр Калмана, налаштований на номінальний режим роботи контрольованого об'єкту. Такий фільтр, будучи оптимальним, формує поточну оцінку вектору стану динамічної системи на основі усієї попередньої історії і з часом стає занадто обережним і мляво реагує на швидкі зміни тренду у окремих результатах спостережень. Отже актуальною постає задача підвищення чутливості фільтра Калмана до раптових змін та застосуванні компенсаційних схем.

Аналіз останніх досліджень та базових літературних джерел

Протягом останнього часу пошукові роботи з даної тематики розвивались у декількох напрямках:

1. Основу першого напрямку склали роботи, пов'язані з використанням елементів самоорганізації динамічних систем у темпі реального часу, причому у випадку стохастичної постановки задачі передбачалось застосування методів сукупного виявлення, оцінювання та ідентифікації як параметрів системи, так і її структури. Тут, серед численних робіт чисто академічного плану [5–8], у першу чергу, слід відзначити роботи прикладного характеру [9–10].

2. Основу другого напрямку склали роботи [3,11], пов'язані з розширенням смуги пропускання фільтра порівняно з оптимальною, при цьому процес фільтрації ставав квазіоптимальним, за рахунок чого підвищувалась чутливість фільтра до раптових змін у вхідних даних. Проте, ці зміни фіксувались лише опосередковано.

3. Ідейну основу робіт третього напрямку склали роботи [12–13], у яких безпосередньо оцінювався

вектор стану динамічної системи за наявності несправностей типу аномальних похибок, непередбачуваних зсувів, раптової втрати чутливості сенсорів, невідомих збурень, що не відносяться до класу випадкових, похибок лінеаризації, дрейфу параметрів системи, неврахованих нелінійних ефектів та тощо. У зв'язку обмеженою доступністю робіт [12–13] для широкого загалу, публічна дискусія з цих питань дещо затрималась і почалася лише після публікацій низки робіт [14–16] і продовжується донині. Розгорнуті коментарі з цього приводу наведені у роботах [1, 3]. Згідно з [1, 3, 14, 15] сценарій синтезу таких фільтрів зводиться до наступного:

1. Встановлення самого факту появи несправності та моменту часу, у який вона з'явилася.
2. Виконання на макрорівні процедури локалізації несправності: сенсорна підсистема, складові частини об'єкта контролю, силові приводи або виконавчі механізми підсистеми регулятора.
3. Оцінювання нанесених збитків у вигляді характерних змін основних параметрів.
4. Прийняття рішень про подальшу придатність системи, незважаючи на погіршення її якісних показників, з можливістю введення компенсаційних заходів для усунення негативних наслідків дії виявленої несправності.

Слід зауважити, що не усі перераховані пункти є обов'язково необхідними, оскільки виконання повної програми спряжено з ускладненням розрахунків та значними затратами обчислювальних ресурсів. Одначе за певних умов, наприклад, у процесах керування безпілотними апаратами наземного, повітряного та морського базування, системах посадки літаків як цивільної, так і військової авіації при обмежених апаратних резервах, програма повинна виконуватись у повному обсязі. Сценарій 1–4, який відноситься до третьої групи перерахованих методів, може бути реалізованим за наявності додаткових, цілком реалістичних обмежень:

1. Несправності трапляються час від часу епізодично і так рідко, що статистичні дані про частоту їх
2. появи відсутні.
3. Поява несправностей носить однократний характер, тобто виключаються випадки одночасної появи двох і більше несправностей.
4. У розпорядженні спостерігача є достатньо часу для аналізу та прийняття рішення.

До складу дорожньої карти, що приводить до розв'язку зазначеної задачі, входять наступні етапи:

1. Реалізується фільтр Калмана на підставі припущення, що несправності відсутні.
2. Реалізується вторинна система обробки різницевого сигналу, завданням якої є контроль стану інноваційного процесу на предмет зміни його властивостей за рахунок появи несправності.
3. Надалі, у випадку виявлення несправності проводиться її локалізація та оцінювання розміру нанесеного збитку з метою введення в дію компенсаційних схем.

Логіка дорожньої карти пояснюється небажанням погіршувати характеристики фільтра в режимі номінального функціонування, тому що несправності виникають украй рідко й більшу частину часу фільтр Калмана працює задовільно, а корегування оцінок проводиться лише однократно в момент часу, що випливає безпосередньо за фактом виявлення несправності.

Викладання основного матеріалу дослідження

Формально-математична сторона питання зводиться до наступного. Розглянемо дискретну динамічну систему зі змінними параметрами, яка представлена рівняннями у термінах змінних станів

$$\boldsymbol{x}(k+1) = \boldsymbol{A}(k+1,k)\ \boldsymbol{x}(k) + \boldsymbol{B}(k+1,k)\ \boldsymbol{w}(k) + \delta(k+1,\theta)\ \boldsymbol{v}; \quad (1)$$

$$\boldsymbol{y}(k) = \boldsymbol{C}(k)\ \boldsymbol{x}(k) + \boldsymbol{n}(k), \quad (2)$$

де $\boldsymbol{x}(k)$ – n-мірний вектор стану, початкове значення якого $\boldsymbol{x}(0)$ являє собою гауссову випадкову величину, що має середнє значення $\boldsymbol{x_0}$ та апріорі задану кореляційну матрицю $\boldsymbol{P}(0)$; $\boldsymbol{w}(k)$ – дискретний білий гауссів шум, статистично незалежний від $\boldsymbol{x}(k)$, що має нульове середнє значення $\boldsymbol{M}[\boldsymbol{w}(k)]=0$ та апріорі задану кореляційну матрицю $\boldsymbol{M}\ [\boldsymbol{w}(k)\ \boldsymbol{w}^T(k)]=\boldsymbol{Q}(k)$; $\boldsymbol{y}(k)$ – m - мірний вектор спостережень; $\boldsymbol{n}(k)$ – дискретний білий гауссів шум спостережень, статистично незалежний від $\boldsymbol{n}(k) ma\ \boldsymbol{x}(0)$ з апріорі заданими параметрами $\boldsymbol{M}[\boldsymbol{n}(k)]=0; \boldsymbol{M}[\boldsymbol{n}(k)\boldsymbol{n}^T(k)]=\boldsymbol{R}(k).$ Остання складова у виразі (1) описує можливі несправності, що проявляються у вигляді стрибкоподібних змін в одній або більш змінних стану. Тут $\delta(k+1,\theta)$ означає символ Кронекера, θ – цілочислена позитивна змінна, яка приймає певне значення пов'язане з моментом появи несправності, однак у випадку відсутності несправностей вона прямує до нескінченності; ν – невідомий розмір непередбаченої стрибкоподібної зміни. Щодо величини **v** можна висунути два припущення: або це абсолютно вільна величина, тобто без уведення будь-яких обмежень, або існує певне число напрямків $\varphi_{1,\ ...,\ }\varphi_L$ кожен з яких однозначно пов'язаний з відповідним типом несправності. Уведення таких напрямків дозволяє задавати сигнатуру несправностей. У цьому випадку величина **v** може бути представлена як складова вектора $\nu = \alpha\varphi_i$, де α – невідомий скаляр, а *i* – невідомий номер напрямку. Залежно від обраного варіанту опису несправності розв'язки задачі будуть дещо відрізнятися. Розв'язок задачі полягає в одержанні методу виявлення стрибкоподібних змін, обумовлених появою несправності та оцінюванні стану системи ***x(k)*** за результатами проведених спостережень $y(k)$.

Слід зазначити що, незважаючи на удавану простоту, модель (1) досить універсальна і продуктивна. Наприклад, вона дозволяє враховувати несправності в підсистемі регулятора, які звичайно

моделюються або у вигляді стрибків, або у вигляді зсувів, або дрейфів в окремих змінних стану. Те ж саме можна сказати й про сенсорну підсистему [16], у якій присутні окремі аномальні помилки. Крім того, поява несправностей у підсистемах об'єкта контролю супроводжується, як правило, зародженням мультиплікативних ефектів з одночасним зростанням рівня збурень. У першому наближенні, ці зміни можна враховувати уведенням адитивних складових у модель динаміки [16], тобто

$$\boldsymbol{x}(k+1) = [\boldsymbol{A}(k+1,k) + \Delta\boldsymbol{A}\,\sigma(k+1,\theta)]\,\boldsymbol{x}(k) + [\,\boldsymbol{B}(k+1,k) + \Delta\boldsymbol{B}\,\sigma(k+1,\theta)]\boldsymbol{w}(k);$$

де $\sigma(k+1,\theta)$ – функція одиничного стрибка.

Відповідно до наведеної дорожньої карти, на першому етапі слід реалізувати погоджений з гіпотезою H_0 (відсутність несправностей) модельно-умовний фільтр Калмана, використовуючи при цьому загальновідомі співвідношення [6, 17]:

$$\boldsymbol{x}^*(k/k) = \boldsymbol{x}^*(k/k-1) + \boldsymbol{K}(k)\boldsymbol{r}(k);$$

де $\boldsymbol{x}^*(k/k-1) = \boldsymbol{A}(k,k-1)\,\boldsymbol{x}^*(k-1/k-1); \quad \boldsymbol{r}(k) = \boldsymbol{y}(k) - \boldsymbol{C}(k)\,\boldsymbol{x}^*(k/k-1).$

Тут уведені такі позначення: $\boldsymbol{x}^*(k/k)$ – поточна оцінка вектора стану $\boldsymbol{x}(k)$ отримана на основі послідовності спостережень $\boldsymbol{Y}_1^k = [\boldsymbol{y}(1),\ldots,\boldsymbol{y}(k)]$; $\boldsymbol{x}^*(k/k-1)$ – екстрапольована на один крок уперед оцінка вектора стану $\boldsymbol{x}(k)$; $\boldsymbol{K}(k)$ – матриця передачі фільтра Калмана; $\boldsymbol{r}(k)$ – інноваційна послідовність різницевих сигналів, що вносять нову інформацію у підсистему фільтра; $\boldsymbol{P}_r(k)$ – кореляційна матриця інноваційного процесу, що обчислюється з використанням тільки апріорних даних $\boldsymbol{P}_r(k) = \boldsymbol{C}(k)\,\boldsymbol{P}(k/k-1)\,\boldsymbol{C}^{\boldsymbol{T}}(k) + \boldsymbol{R}(k)$; $\boldsymbol{P}(k/k-1)$ – кореляційна матриця похибок екстраполяції на один крок уперед $\boldsymbol{P}(k/k-1) = \boldsymbol{A}(k,k-1)\,\boldsymbol{P}(k-1/k-1)\,\boldsymbol{A}^{\boldsymbol{T}}(k,k-1) + \boldsymbol{B}(k,k-1)\boldsymbol{Q}(k-1)\,\boldsymbol{B}^{\boldsymbol{T}}(k,k-1)$; матриця передачі оптимального фільтра $\boldsymbol{K}(k)$ та кореляційна матриця похибок фільтрації $\boldsymbol{P}(k/k)$ обчислюється рекурентно з рівнянь [17] :

$$\boldsymbol{K}(k) = \boldsymbol{P}(k/k-1)\,\boldsymbol{C}^{\boldsymbol{T}}(k)\,\boldsymbol{P}_r^{-1}(k); \qquad \boldsymbol{P}(k/k) = \boldsymbol{P}(k/k-1)[\boldsymbol{I} - \boldsymbol{K}(k)\boldsymbol{C}(k)].$$

Лінійність моделей (1) – (2) та фільтра дозволяють роздільно враховувати ефекти від впливу номінального режиму та режиму з наявністю несправностей, тобто передбачається справедливість співвідношень:

$$\boldsymbol{x}(k) = \boldsymbol{x}_0(k) + \boldsymbol{x}_1(k); \quad \boldsymbol{x}(k/k) = \boldsymbol{x}_0^*(k/k) + \boldsymbol{x}_1^*(k/k); \quad \boldsymbol{y}(k) = \boldsymbol{y}_0(k) + \boldsymbol{y}_1(k); \quad \boldsymbol{r}(k) = \boldsymbol{r}_0(k) + \boldsymbol{r}_1(k), \qquad (3)$$

де індекси 0, 1 відповідають випадкам відсутності несправностей та їх наявності, відповідно. Методом математичної індукції нескладно показати, що компоненти з індексом 1 явно залежать від θ і ν

$$\boldsymbol{x}_1(k) = \boldsymbol{A}(k,\theta)\nu; \; \boldsymbol{x}_1^*(k/k) = \boldsymbol{F}(k,\theta)\nu; \boldsymbol{y}_1(k) = \boldsymbol{C}(k)\,\boldsymbol{A}(k,\theta)\nu; \; \boldsymbol{r}_1(k) = \boldsymbol{G}(k,\theta)\nu, \qquad (4)$$

причому матриці $\boldsymbol{A}(k,\theta), \boldsymbol{F}(k,\theta), \boldsymbol{G}(k,\theta)$ будуть відмінними від нуля тільки при $k \ge \theta = k_1$, де k_1 – момент появи несправності. Зазначені матриці, як це випливає із застосування методу математичної індукції, визначаються наступними співвідношеннями:

$$\boldsymbol{A}(k+1,\theta) = \boldsymbol{A}(k,k-1)\boldsymbol{A}(k-1,\theta), \qquad \boldsymbol{A}(\theta,\theta) = I;$$

$$\boldsymbol{F}(k,\theta) = \sum_{j=\theta}^{k} \boldsymbol{\Theta}(k,j)\,\boldsymbol{K}(j)\,\boldsymbol{C}(j)\,\boldsymbol{A}(j,\theta); \qquad \boldsymbol{G}(k,\theta) = \boldsymbol{C}(k)[\boldsymbol{A}(k,\theta) - \boldsymbol{A}(k,k-1)\boldsymbol{F}(k-1,\theta)]. \qquad (5)$$

При $k \ge \theta\,\boldsymbol{\Theta}(k,\theta)$ відмінно від нуля і визначається виразами

$$\boldsymbol{\Theta}(k,\theta) = [\boldsymbol{I} - \boldsymbol{K}(k)\boldsymbol{C}(k)]\,\boldsymbol{A}(k,k-1)\,\boldsymbol{\Theta}(k-1,\theta), \qquad \boldsymbol{\Theta}(\theta,\theta) = \boldsymbol{I}. \qquad (6)$$

Сукупність рівнянь (3)–(5) дозволяє сформулювати задачу розрізнення двох альтернативних гіпотез у вигляді:

$$\begin{cases} H_0 : r(k) = \boldsymbol{r}_0(k) & -\textit{система справна} \\ H_1 : r(k) = \boldsymbol{r}_0(k) + \boldsymbol{r}_1(k) = \boldsymbol{r}_0(k) + G(k,\theta)\nu & -\quad \textit{система несправна} \end{cases} \qquad (7)$$

де $\boldsymbol{r}_0(k)$ – інноваційний дискретний процес у фільтрі Калмана, що має нульове середнє значення і кореляційну матрицю $\boldsymbol{P}_r(k)$. Далі доречно врахувати апріорну інформацію про тип несправності ν, *чи* це вільна складова, чи $\nu = \alpha\varphi_i$, де α – невідомий скаляр, а i – невідомий номер напрямку з обмеженої множини напрямків $\varphi_{1,\ldots,}\ \varphi_{L,}$ кожен з яких однозначно пов'язаний з відповідним типом несправності. Далі буде розглянуто випадок відсутності обмежень на тип несправності. Беручи до уваги зроблені зауваження, перейдемо до реалізації другого етапу наміченої програми – синтезу пристрою виявлення несправності та оцінки моменту її появи. Оскільки статистичні характеристики змінних $\theta i \nu$ вважаються невідомими, то застосування стандартного відношення правдоподібності [17] для розв'язку задачі розрізнення вищезазначених гіпотез (7) є неправомірним. В умовах статистичної невизначеності слід скористатися рекомендаціями роботи [18] та застосувати метод узагальненого відношення правдоподібності

$$L(k) = \frac{p[\boldsymbol{r}(1),\ldots,\ \boldsymbol{r}(k)/H_{1,}\ \theta = \theta^*(k), \nu = \nu^*(k)]}{p[\boldsymbol{r}(1),\ldots,\ \boldsymbol{r}(k)/H_0]} \begin{matrix} \ge^{H_1} \\ <_{H_0} \end{matrix} l_0, \qquad (8)$$

де $p[\cdot]$ – функція правдоподібності за умови справедливості гіпотез $H_1 i \quad H_0$, відповідно; $\theta = \theta^*(k), \nu = \nu^*(k)$ – максимально правдоподібні оцінки моменту появи несправності та її розміру. Для обчислення цих оцінок необхідно розв'язати систему рівнянь

$$\begin{cases} \dfrac{\partial}{\partial\theta(k)} p[\boldsymbol{r}(1),\ldots,\ \boldsymbol{r}(k)/H_1,\ \theta(k),\nu(k)] = 0; \\ \dfrac{\partial}{\partial\nu(k)} p[\boldsymbol{r}(1),\ldots,\ \boldsymbol{r}(k)/H_1,\ \theta(k),\nu(k)] = 0\ . \end{cases} \tag{9}$$

Оскільки умовні густини розподілу ймовірностей, що входять до виразу (9) є гауссовими з параметрами:

$$p[\boldsymbol{r}(j)/H_0,\ \theta(k),\nu(k)] = N\left[0,\ \boldsymbol{P}_r(j)\right]; \qquad p[\boldsymbol{r}(j)/H_1,\ \theta^*(k),\nu^*(k)] = N\left[\boldsymbol{G}(k,\theta)\nu,\ \boldsymbol{P}_r(j)\right],$$

то процедура обчислення оцінок може бути спрощена за рахунок уведення операції логарифмування [18] з наступною максимізацією частини виразу (9), яка залежить від ν

$$l(k,\theta) = 2lnL(k,\theta) = \sum_{j=1}^{k} \boldsymbol{r}^T(j)\boldsymbol{P}_r^{-1}(j)\boldsymbol{r}(j) -$$

$$-\sum_{j=1}^{k}\{\boldsymbol{r}(j) - \boldsymbol{G}[k,\theta^*(k)]\nu^*(k)\}^T \boldsymbol{P}_r^{-1}(j)\left\{\boldsymbol{r}(j) - \boldsymbol{G}\left[k,\theta^*(k)\right]\nu^*(k)\right\}. \tag{10}$$

Для обчислення оцінки розміру несправності $\nu^*(k)$ за критерієм максимальної правдоподібності необхідно визначити похідну по ν від суми квадратичних форм

$$\sum_{j=1}^{k}\{\boldsymbol{r}(j) - \boldsymbol{G}[k,\theta^*(k)]\nu^*(k)\}^T \boldsymbol{P}_r^{-1}(j)(j)\left\{\boldsymbol{r}(j) - \boldsymbol{G}\left[k,\theta^*(k)\right]\nu^*(k)\right\}$$

та прирівняти її до нуля. Розв'язавши це рівняння відносно ν за умови, що оцінка $\theta^*(k)$ відома, можна встановити явну залежність оцінки $\nu^*(k)$ від $\theta^*(k)$

$$\nu^*(k) = \Xi^{-1}\left[k,\theta^*(k)\right] d\left[k,\theta^*(k)\right], \tag{11}$$

$$\Xi\left[k,\theta(k)\right] = \sum_{j=1}^{k} \boldsymbol{G}^{\boldsymbol{T}}(j,\theta)\ \boldsymbol{P}_r^{-1}(j)\ \ \boldsymbol{G}(j,\theta) \tag{12}$$

$$d\left[k,\theta(k)\right] = \sum_{j=1}^{k} \boldsymbol{G}^{\boldsymbol{T}}(j,\theta)\ \boldsymbol{P}_r^{-1}(j)\boldsymbol{r}(j) \tag{13}$$

де $\Xi\left[k,\theta(k)\right]$ – детермінована матриця , а $d\left[k,\theta(k)\right]$ – лінійна комбінація відліків різницевого сигналу.

Слід зазначити, що багато складових, входять до виразів (12) – (13) є нульовими, тому що $G(j,\theta) = 0$ для всіх $j < \theta$. Лінійну комбінацію (11) відліків різницевого сигналу часто інтерпретують [17, с.135–136] як результат роботи дискретного узгодженого фільтра, що формує достатню статистику, необхідну для процедури прийняття рішення. На заключному кроці цієї процедури визначається максимально правдоподібна оцінка моменту появи несправності $\theta^*(k)$ шляхом знаходження максимуму виразу

$$l\left[k,\theta^*\right] = \max_{\tilde{\theta}} d^T\left[k,\tilde{\theta}\right] \Xi^{-1}\left[k,\tilde{\theta}\right] d\left[k,\tilde{\theta}\right] \tag{14}$$

за змінною $\tilde{\theta}$ у межах $\tilde{\theta} \le k$. Таким чином, остаточний вигляд правила прийняття рішення буде таким:

$$l\left[k,\theta^*\right] \underset{<_{H_0}}{\overset{\ge^{H_1}}{}} \lambda_0 = 2\ln l_0.$$

Оскільки розглянуті системи відносяться до класу систем реального часу, то з ростом змінної k пропорційно зростає число необхідних узгоджувальних фільтрів, а це означає, що обсяг обчислень буде зростати необмежено. У цьому випадку діють традиційно – обсяг даних, що враховуються, обмежують М останніми результатами [15]. При цьому оцінку $\theta^*(k)$ слід шукати тільки в межах «ковзного» вікна даних $k - M < \tilde{\theta} \le k$. Така апроксимація не буде вносити істотних похибок, якщо вибирати ширину вікна даних досить великою. Питання вибору прийнятної ширини вікна є одним з головних і вирішується шляхом ретельного математичного моделювання, наприклад, методом Монте-Карло. Граничне значення λ_o для прийняття рішення є параметром проектування і вибирається з компромісних міркувань між ймовірностями

хибної тривоги та правильного виявлення. У загальному випадку, матриці $\boldsymbol{\Xi}(j,\theta),\boldsymbol{G}(j,\theta),\boldsymbol{F}(j,\theta),\boldsymbol{P}_r(j)$ є змінними в часі.

Звичайно, якщо розглядається стаціонарна система або оптимальний фільтр Калмана, що працює в усталеному режимі, то справедливо $\boldsymbol{\Xi}(j,\theta)=\boldsymbol{\Xi}(j-\theta,0),\boldsymbol{G}(j,\theta)=\boldsymbol{G}(j-\theta,0),\quad \boldsymbol{F}(j,\theta)=\boldsymbol{F}(j-\theta,0),$ $\boldsymbol{P}_r(j)=\boldsymbol{P}_r(0).$ Це суттєво спрощує необхідні обчислення та процес їх зберігання. Проте, у будь-якому разі необхідні обчислення потрібно виконати хоча б один раз і бажано у рекурсивній формі. Це дасть можливість послідовно обчислювати відношення правдоподібності $l\left[k,\theta^*\right]$ у темпі реального часу в термінах матриць $\boldsymbol{\Xi}(j,\theta),\boldsymbol{G}(j,\theta),\boldsymbol{F}(j,\theta),\boldsymbol{P}_r(j).$

Висновки

Якщо обмежити ширину «ковзного» вікна величиною *M,* то відповідно до формул (5) – (6) діагностична процедура динамічної системи буде наступною:

1. Для усіх $k-M<\theta\le k$ слід обчислити матриці $\Xi^{-1}\left[k,\tilde{\theta}\right],d\left[k,\tilde{\theta}\right],$ які пов'язані з попередніми *(M-1)* ітераціями

$$\Xi(k,\theta)=\boldsymbol{G}^{\boldsymbol{T}}(k,\theta)\,\boldsymbol{P}_r^{-1}(k)\;\boldsymbol{G}(k,\theta)+\Xi(k-1,\theta); \tag{15}$$

$$d(k,\theta)=\boldsymbol{G}^{\boldsymbol{T}}(k,\theta)\,\boldsymbol{P}_r^{-1}(k)\,\boldsymbol{r}(k)+d(k-1,\theta). \tag{16}$$

2. Для обчислення матриці $\boldsymbol{G}(k,\theta)$ слід користуватися формулою (5)

$$\boldsymbol{G}(k,\theta)=\boldsymbol{C}(k)[\boldsymbol{A}(k,\theta)-\boldsymbol{A}(k,k-1)\;\boldsymbol{F}(k-1,\theta)], \tag{17}$$

$$\boldsymbol{F}(k,\theta)=\boldsymbol{K}(k)\boldsymbol{G}(k,\theta)+\boldsymbol{A}(k,k-1)\;\boldsymbol{F}(k-1,\theta)],\ k-M<\theta\le k \tag{18}$$

та *(2M-2)* рекурентними співвідношеннями для $\boldsymbol{A}(k,k-1)$ и $\boldsymbol{\Theta}(k,\theta)$

$$\boldsymbol{A}(k,\theta)=\boldsymbol{A}(k,k-1)\;\boldsymbol{A}(k-1,\theta),\ \boldsymbol{A}(\theta,\theta)=I\ ; \tag{19}$$

$$\boldsymbol{\Theta}(k,\theta)=[\boldsymbol{I}-\boldsymbol{K}(k)\boldsymbol{C}(k)]\,\boldsymbol{A}(k,k-1)\boldsymbol{\Theta}(k-1,\theta),\quad \boldsymbol{\Theta}(\theta,\theta)=\boldsymbol{I}. \tag{20}$$

3. Новими елементами, необхідними для сукупності рівнянь (15) – (20) є лише ті, які відповідають появі стрибка у момент часу *k*:

$$\Xi(k,k)=\boldsymbol{C}^{\boldsymbol{T}}(k)\,\boldsymbol{P}_r^{-1}(k)\boldsymbol{C}(k); \tag{21}$$

$$d(k,k)=\boldsymbol{C}^{\boldsymbol{T}}(k)\,\boldsymbol{P}_r^{-1}(k)\boldsymbol{r}(k); \tag{22}$$

$$\boldsymbol{F}(k,k)=\boldsymbol{K}\ (k)\boldsymbol{C}(k). \tag{23}$$

Якщо система стаціонарна, то обчислення (17) – (23) необхідно провести тільки один раз для перших *M* спостережень, які зберігаються в пам'яті для усіх наступних ітерацій.

4. Відносно вибору мінімального значення M_{min} ширини «ковзного» вікна слід проявляти певну обережність через можливу втрату властивості «спостережливості» системи [13], що унеможливить обчислення оберненої матриці $\Xi^{-1}[k,\theta]$ для усіх $\theta>k-M_{min}$. У цьому разі можна порадити вибір деякого значення *M',* що лежить в інтервалі $(M_{min}-M)$. При цьому процедура оптимізації стає обмеженою і проводиться у діапазоні $k-M<\theta\le k-M'$.

Література

1. Гришин Ю. П. Динамические системы устойчивые к отказам / Ю. Гришин, Ю. Казаринов. – М. : Радио и связь, 1985. – 176 с.

2. Казаринов Ю.М. Обработка сигналов в комплексном измерителе при наличии нарушений в радиоканале / Казаринов Ю. М., Гришин Ю. П., Воловик Ю. Н. / Вопросы радиоэлектроники. – 1978. – Сер. ОТ, вып. 10. – С. 22–31.

3. Гришин Ю. П. Обнаружение нарушений в динамических системах: Обзор / Юрий Павлович Гришин // Зарубежная радиоэлектроника. – 1981. – № 5. – С. 42–53.

4. Кичак В.М. Адаптивное оценивание сообщений в телеметрическом канале связи, пораженном хаотической импульсной помехой / В. М. Кичак, Ю. Н. Воловик, А. Ю. Воловик // Прикладная радиоэлектроника. – Харьков. – 2006. – Т. 5, № 2. – С. 279–283.

5. Саридис Дж. Самоорганизующиеся стохастические системы управления / Дж. Саридис ; под ред. Я. З. Цыпкина. – М. : Наука, 1980. – 400 с.

6. Згуровский М. З. Аналитические методы калмановской фильтрации для систем с априорной неопределенностью / М. З. Згуровський, В. Н. Подладчиков. – К. : Наукова думка, 1995. – 253 с.

7. Казаков И. Е. Статистическая динамика систем с переменной структурой / И. Е. Казаков. – М. :

Наука, 1977. – 416 с.

8. Казаков И. Е. Оптимизация динамических систем случайной структуры / И. Е. Казаков, В. М. Артемьев. – М. : Наука, 1980. – 384 с.

9. Willsky A. S. Adaptive Filtering and Self-Test Methods for Failure Detection and Compensation / Willsky A. S., Deyst J. J., Crawford B. S. / Proc. of the 1974 JACC, Austin, Nexas, June 19–21, 1974.

10. Athans M. A practical Scheme for Adaptive Aircraft Flight Control Systems / M. Athans, D. Willner Presented at the Symposium on Parameter Estimation Tech. and Appl. In Aircraft Flight Testing, NASA Flight Research Center, Edwards Air Force Base, California, April 24–25, 1973.

11. Jazwinski A. H. Limited memory optimal filtering / A. H. Jazwinski / IEEE Trans. Automatic Control. – 1968, Vol. AC-13, P. 558-563.

12. Beard R. V. Failure Accommodation in Linear Systems Through Self-Reorganization / R. V. Beard Report No, MVT-71-1, Man Vehicle Laboratory, M.I.T., Cambridge, Mass. February 1971.

13. Jones H. L. Failure Detection in Linear Systems: Ph.D. Thesis / Dept. of Aeronautics and Astronautics, M.I.T., Cambridge, Mass., September 1973.

14. McAulay R. J. Decision-Derected Adaptive Tracker / R. J. McAulay, E. Denlinger / IEEE Trans. On Aerospace and Electronec Systems, Vol. AES-9, March 1973, P. 229–236.

15. Willsky A. S. A generalized likelihood ratio approach to the detection and estimation of jumps in linear systems / A. S. Willsky, H. L. Jones // IEEE Trans. Automatic Control, Vol. AC-21, No. 1, 1976, P. 108-112.

16. Willsky A. S. *(1976).* A survey of design methods for failure detection in dynamic systems / A. S. Willsky. *Automatica 12(6): P. 601-611.*

17. Сейдж Э. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / Э. Сейдж, Дж. Мелс ; пер. с англ. ; под ред. Б. Р. Левина. – М. : Связь, 1976. – 496 с.

18. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции / Г. Ван Трис ; пер. с англ. ; под ред. В. И. Тихонова.– М. : Сов. радио, 1972. – Т. 1. – 744 с.

References

1. Grishin Ju. P. Dinamicheskie sistemy ustojchivye k otkazam / Ju. Grishin, Ju. Kazarinov. – M. : Radio i svjaz', 1985. – 176 s.

2. Kazarinov Ju.M. Obrabotka signalov v kompleksnom izmeritele pri nalichii narushenij v radiokanale / Kazarinov Ju. M., Grishin Ju. P., Volovik Ju. N. / Voprosy radiojelektroniki. – 1978. – Ser. OT, vyp. 10. – S. 22–31.

3. Grishin Ju. P. Obnaruzhenie narushenij v dinamicheskih sistemah: Obzor / Jurij Pavlovich Grishin // Zarubezhnaja radiojelektronika. – 1981. – № 5. – S. 42–53.

4. Kichak V.M. Adaptivnoe ocenivanie soobshhenij v telemetricheskom kanale svjazi, porazhennom haoticheskoj impul'snoj pomehoj / V. M. Kichak, Ju. N. Volovik, A. Ju. Volovik // Prikladnaja radiojelektronika. Har'kov. 2006. T. 5, № 2. S. 279–283.

5. Saridis Dzh. Samoorganizujushhiesja stohasticheskie sistemy upravlenija / Dzh. Saridis ; pod red. Ja. Z. Cypkina. – M. : Nauka, 1980. – 400 s.

6. Zgurovskij M. Z. Analiticheskie metody kalmanovskoj fil'tracii dlja sistem s apriornoj neopredelennost'ju / M. Z. Zgurovs'kij, V. N. Podladchikov. – K. : Naukova dumka, 1995. – 253 s.

7. Kazakov I. E. Statisticheskaja dinamika sistem s peremennoj strukturoj / I. E. Kazakov. – M. : Nauka, 1977. – 416 s.

8. Kazakov I. E. Optimizacija dinamicheskih sistem sluchajnoj struktury / I. E. Kazakov, V. M. Artem'ev. – M. : Nauka, 1980. – 384 s.

9. Willsky A. S. Adaptive Filtering and Self-Test Methods for Failure Detection and Compensation / Willsky A. S., Deyst J. J., Crawford B. S. / Proc. of the 1974 JACC, Austin, Nexas, June 19–21, 1974.

10. 10. Athans M. A practical Scheme for Adaptive Aircraft Flight Control Systems / M. Athans, D. Willner Presented at the Symposium on Parameter Estimation Tech. and Appl. In Aircraft Flight Testing, NASA Flight Research Center, Edwards Air Force Base, California, April 24–25, 1973.

11. Jazwinski A. H. Limited memory optimal filtering / A. H. Jazwinski / IEEE Trans. Automatic Control. – 1968, Vol. AC-13, R. 558-563.

12. Beard R. V. Failure Accommodation in Linear Systems Through Self-Reorganization / R. V. Beard Report No, MVT-71-1, Man Vehicle Laboratory, M.I.T., Cambridge, Mass. February 1971.

13. Jones H. L. Failure Detection in Linear Systems: Ph.D. Thesis / Dept. of Aeronautics and Astronautics, M.I.T., Cambridge, Mass., September 1973.

14. McAulay R. J. Decision-Derected Adaptive Tracker / R. J. McAulay, E. Denlinger / IEEE Trans. On Aerospace and Electronec Systems, Vol. AES-9, March 1973, R. 229–236.

15. Willsky A. S. A generalized likelihood ratio approach to the detection and estimation of jumps in linear systems / A. S. Willsky, H. L. Jones // IEEE Trans. Automatic Control, Vol. AC-21, No. 1, 1976, R. 108-112.

16. Willsky A. S. (1976). A survey of design methods for failure detection in dynamic systems / A. S. Willsky. Automatica 12(6): R. 601-611.

17. Sejdzh Je. Teorija ocenivanija i ee primenenie v svjazi i upravlenii / Je. Sejdzh, Dzh. Mels ; per. s angl. ; pod red. B. R. Levina. – M. : Svjaz', 1976. – 496 s.

18. 18. Van Tris G. Teorija obnaruzhenija, ocenok i moduljacii / G. Van Tris ; per. s angl. ; pod red. V. I. Tihonova.– M. : Sov. radio, 1972. – T. 1. – 744 s.

Рецензія/Peer review : 14.11.2017 р. Надрукована/Printed :04.02.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Осадчук В.С.

УДК 681.514:621.029

Н.Я. ВОЗНА
Тернопільський національний економічний університет

МЕТОД СТРУКТУРИЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ ДЛЯ ВІДОБРАЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СТАНІВ НА ЕЛЕКТРИЧНІЙ ПІДСТАНЦІЇ

Стаття стосується проблеми розпізнавання перехідних процесів у високовольтних лініях електропересилань, розробки нових ефективних способів захисту промислового обладнання ЛЕП від перевантажень та коротких замикань. Запропоноване структуризоване відображення образно-кластерної моделі дозволяє передбачати та прогнозувати розвиток передаварійних станів та підвищити інформативність контролю параметрів на електричних підстанціях високовольтних ЛЕП.

Ключові слова: структуризація, електрична підстанція, контроль параметрів, образно-кластерна модель, стан електричної підстанції.

NATALIIA VOZNA
Ternopil National Economic University

METHOD OF STRUCTURING INFORMATION FLOWS FOR DESCRIPTION TECHNOLOGICAL STATES ON ELECTRIC SUBSTATION

The article deals with the problem of recognition of transient processes in high-voltage transmission lines, the development of new effective methods for protecting industrial equipment of transmission lines from overloads and short circuits. The proposed structured mapping of the figurative cluster model allows predicting and predicting the development of transient states and increasing the informativeness of control of parameters at electric substations of high-voltage transmission lines. A fast-acting method for detecting and invariant identification of transient processes in transmission lines such as charges, short circuits and the launch of powerful electric drives has been developed. The theory of structuring of figuratively cluster models of monitoring of states of electric substations of high-voltage transmission lines is developed, which includes the development of theoretical foundations and algorithms for constructing a complex of models of quasi-stationary states of multi-parameter technological objects, analysis of the structure and characteristics of information flows that are formed on the electric substation 6-35 kV for monitoring their states. A structured representation of the spatial location of information about the states of the electric power station is presented. The software for constructing a figurative-cluster model in accordance with the proposed formalization of technological parameters in high-voltage transmission lines has been developed. The work is devoted to substantiation of the prospect of development and implementation in the monitoring systems of control and management of industrial objects of structured image-cluster models of interaction "operator-monitoring system". The application of in-depth analysis of quasi-stationary states of objects is a promising tool for increasing the efficiency of operators in the conditions of emergencies of unusual, transient and emergency situations not only in high-voltage transmission lines, but also in industrial facilities.

Keywords: structuring, electrical substation, parameter control, figurative cluster model, state of the electrical substation.

Постановка проблеми. Важливою проблемою у електроенергетиці є розпізнавання та ідентифікація перехідних процесів у високовольтних ЛЕП. Висока швидкодія перехідних режимів у ЛЕП на протязі кількох періодів частоти 50 Гц потребує адекватної швидкодії перетворювачів, пристроїв автоматики релейного захисту та спеціалізованих обчислювальних засобів – контролерів, які опрацьовують режими електропостачання у реальному часі.

У процесі експлуатації високовольтних ЛЕП можуть виникати особливі перехідні режими та можливість виникнення пошкоджень обладнання електричних та трансформаторних підстанцій. Такі пошкодження приводять до механічного виводу з ладу технологічного обладнання струмами короткого замикання або дугою, яка виникає у місці пошкодження.

Крім того, небезпечним також є пониження напруги у вузлових точках електроенергетичної системи внаслідок коротких замикань, що впливає на порушення технологічних процесів споживачів електроенергії та стійкості генераторів енергосистеми.

Метою даної роботи є розробка теорії та алгоритмів структуризації образно-кластерних моделей (ОКМ) моніторингу станів електричних підстанцій високовольтних ЛЕП, яка включає розробку теоретичних основ та алгоритмів побудови комплексу моделей квазістаціонарних станів багатопараметричних технологічних об’єктів, аналіз структури та характеристик інформаційних потоків, які формуються на електричній підстанції для моніторингу їх станів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Важливим характеристичним параметром сучасних інформаційних мереж є найповніший структуризовано-модельний опис властивостей ОУ, як джерел інформації. Теорія джерел інформації викладена в роботах [1, 2] систематизує методи побудови широкого класу інформаційних моделей ОУ. У роботах [3, 4] викладено теоретичні, методологічні та прикладні аспекти створення нового класу високо інтегрованих образно-кластерних моделей, які базуються на теорії, критеріях та методології структуризації поліфункціональних даних.

Виклад основного матеріалу. Електрична підстанція (ПС) являє собою ключовий вузол, що дозволяє організувати систему енергозабезпечення на об’єктах різної величини, що визначається рівнем максимального навантаження самої установки. В залежності від виконання, обладнання даного виду може підвищувати або знижувати напругу, а це безпосередньо визначає цільове призначення ПС.

Розподільна електрична підстанція відповідальна за прийом і перетворення електроенергії. При цьому напруга може знижуватися або підвищуватися, а при необхідності і випрямлятися, що обумовлюється

потребами споживача. На наступному етапі виконується розподіл отриманої енергії. У випадках, коли передбачається підвищення значення напруги, електроенергія приймається, наприклад, від генератора, а передається далі на ЛЕП. Якщо електроенергія подається від ліній електропередач, то для подальшої відправки споживачеві необхідно здійснити зниження напруги.

Електричні станції та підстанції можуть поставлятися на дільницю монтажу в готовому, повністю зібраному вигляді або ж окремими блоками і вузлами, при цьому обладнання буде носити назву комплектне. Основні елементи і вузли:

- камера для установки в ній апаратури, включаючи і трансформатор, а також шинопровід. Зустрічається два виконання: повністю закрите без сітчастих вставок і частково закрите з огорожею у вигляді сітки;
- збірні шини. Вони в сукупності становлять цілу систему. Електричні станції та підстанції можуть містити також окремі секції, які являють собою ті ж збірні шини, відокремлені комутаційним вузлом;
- струмопровідна система, що включає в себе шини або кабелі, які з'єднуються з ізоляторами;
- трансформатор в кількості від одного до декількох одиниць;
- розподільний пристрій забезпечує прийом і подальший розподіл енергії. РУ складається з декількох вузлів: комутаційна апаратура, збірні шини, елементи керування та захисту [5].

Приклад схеми підключення трансформаторної ПС 10 кВт показаний на рис. 1.

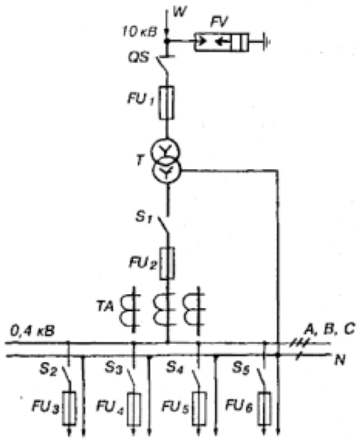


Рис. 1. Знімання однотрансформаторної підстанції 10 кВт

Основні схеми первинних з'єднань розподільного пристрою 10 кВ комплектної трансформаторної підстанції (КТП) наведені на рис. 2 (у деяких схемах не показані додаткові роз'єднувачі, які можуть встановлюватися на кінцевих опорах для приєднання КТП до ліній).

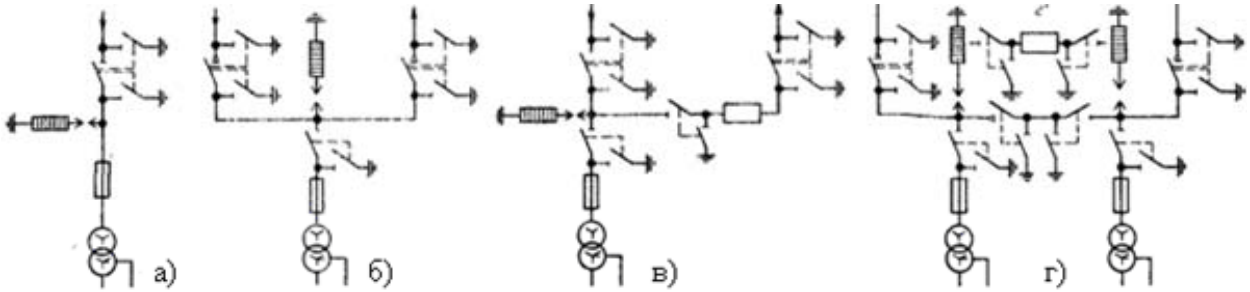


Рис. 2. Головні схеми з'єднань розподільного пристрою РУ 10 кВ трансформаторних підстанцій 10/0, 38 кВ.

Вхідними даними для розробки теоретичних основ та алгоритмів побудови комплексу моделей квазістаціонарних станів багатопараметричних технологічних об'єктів, аналізу структури та характеристик інформаційних потоків, які формуються на електричній підстанції для моніторингу їх станів, апробації алгоритмів на тестових та експериментальних сигналах є отримані інформаційно-діагностичними комплексами "Альтра", розроблені Інститутом мікропроцесорних систем керування об'єктами електроенергетики для моніторингу і аналізу аварійних процесів та нормальних режимів електроенергетичних систем.

Пристрої "Альтра" розміщують безпосередньо на підстанціях та електричних станціях. Схема приєднання пристрою захисту "Альтра" до зовнішніх кіл наведена на рис. 3.

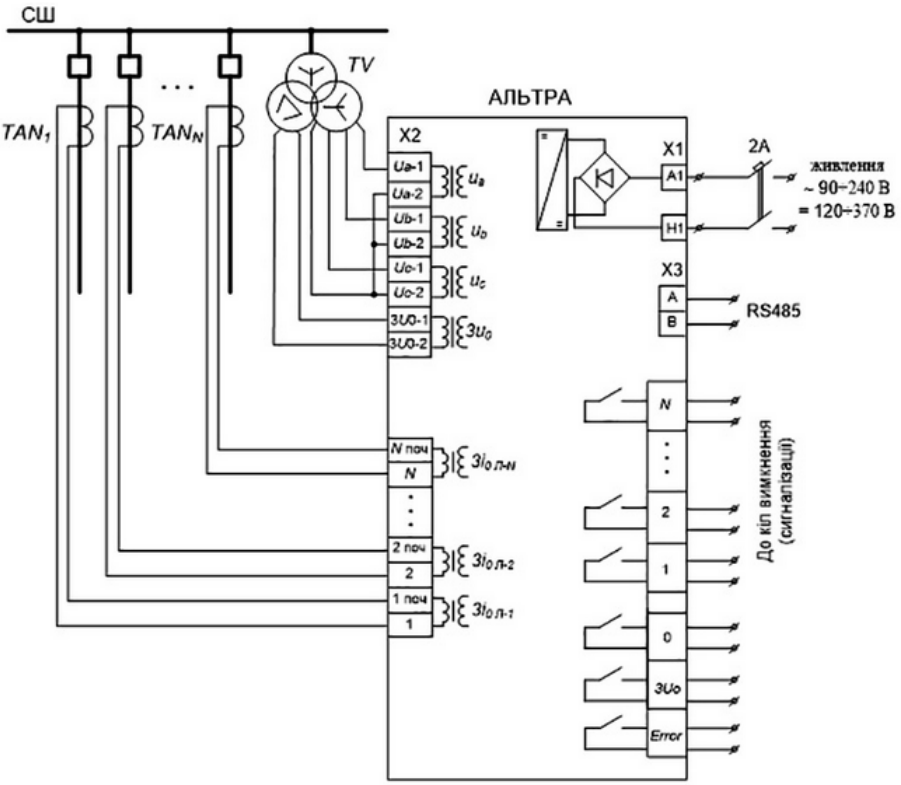


Рис. 3. Схема приєднання пристрою "Альтра" до зовнішніх кіл.

Функціональна схема інформаційно-діагностичного комплексу (ІДК) «Альтра» наведена на рис. 4. Комплекс побудований за трирівневою ієрархічною схемою.

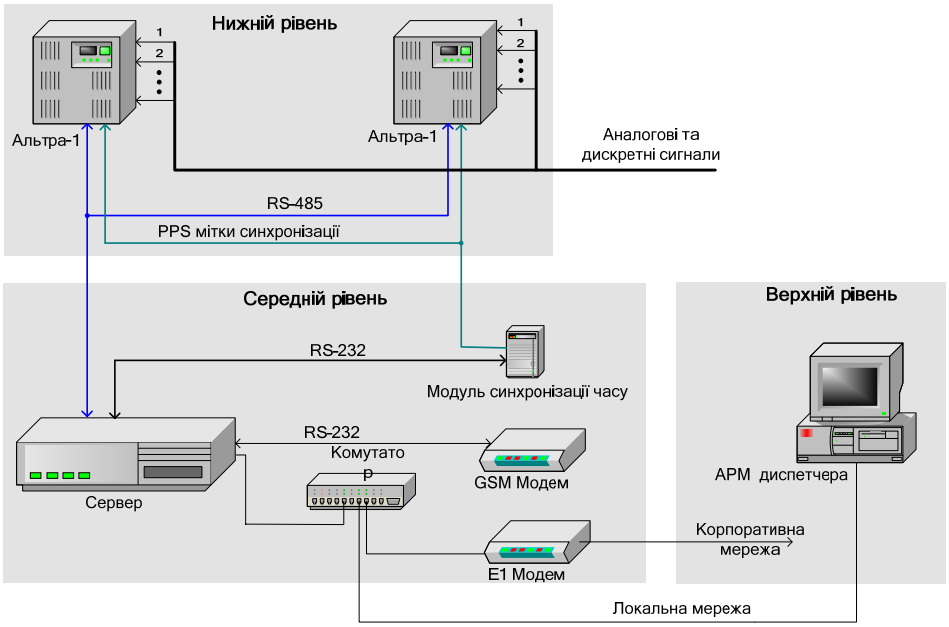


Рис. 4. Функціональна схема ІДК "Альтра"

Кількість пристроїв визначається кількістю аналогових та дискретних сигналів, що підлягають контролю. Один пристрій "Альтра" забезпечує моніторинг та реєстрацію 16-ти аналогових та 62-дискретних сигналів. Аналоговими сигналами є сигнали про фазні значення струмів (значення двох струмів, як правило, фаз А та фази С), фазних значень напруг, напруги нульової послідовності. Таким чином, один пристрій може контролювати до 6 ліній електропересилання. Дискретні сигнали – це сигнали про стан вихідних реле пристроїв релейного захисту та автоматики, стан проміжних реле цих пристроїв, положення комутаційних апаратів – вимикачів, роз'єднувачів, автоматів тощо. Дискретні сигнали – це не обов'язково сигнали, які стосуються обладнання 6 контрольованих ліній електропересилання, це можуть бути дискретні сигнали і іншого обладнання електроенергетичного об'єкту, на якому встановлені пристрої "Альтра".

Пристрої "Альтра" спрацьовують за фактом виходу будь-якої з контрольованих величин за межі заданого діапазону або примусово за командою від оператора. Після спрацювання відбувається реєстрація

(запис) контрольованої інформації в пам'ять пристрою [6].

На основі спрацювання пристрою визначається лінія, на якій відбулось пошкодження, його вид та віддаль до місця пошкодження. Визначається чи пошкодження є безпосередньо на даній лінії чи за її межами.

1. Теорія структуризації даних образно-кластерного моніторингу технологічних об'єктів. Запропонований спосіб контролю параметрів технологічного процесу, надає можливість передбачати та прогнозувати розвиток передаварійних станів технологічного процесу, а побудова та відображення образно-кластерної моделі дозволяє підвищити інформативність контролю його параметрів [7, 8].

Спосіб контролю параметрів технологічного процесу включає циклічний вимір значень кожного параметра та їх запам'ятовування, визначення стану технологічного процесу шляхом порівняння вимірюваних значень параметра від заданих уставок регуляторів параметрів, ідентифікацію стану квазістаціонарного об'єкта, визначення структурної автокореляційної функції та нормованого коефіцієнта взаємокореляції, за якими визначають:

- ковзні статистичні характеристики математичного сподівання, згідно виразів:

$$L_1 = \begin{Bmatrix} 0, a_1 < M_j < a_2 \\ 1, a_1 \geq M_j \geq a_2 \end{Bmatrix},$$

де $M_j = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i+j}^{n+j} x_{i+j}, i = 1,2,...,I$, n – число контрольованих параметрів технологічного об'єкту;

- структурну кореляційну функцію, згідно виразу:

$$L_2 = \begin{Bmatrix} 0, b_1 < C_{xx}(j) < b_2 \\ 1, b_1 \geq C_{xx}(j) \geq b_2 \end{Bmatrix},$$

де $C_{xx}(j) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i+j}^{n+j} (x_i - x_{i-j})^2, j = \overline{0,m}$;

- коефіцієнти нормованої взаємокореляції між двома параметрами, згідно виразу:

$$L_3 = \begin{Bmatrix} 0,0 < \rho_{xy} < 1 \\ 1,0 \geq \rho_{xy} \geq -1 \end{Bmatrix},$$

де $\rho_{xy} = \frac{R_{xy}(0)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$, $\sigma_x = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i+j}^{n+j} (x_i - M_{xj})^2$, $\sigma_y = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i+j}^{n+j} (y_i - M_{yj})^2$.

- вибіркові математичні сподівання, згідно виразів:

$$M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} X_i \ , \ M_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} Y_i \ ,$$

які характеризують відповідність значень уставкам регуляторів технологічного процесу;

- зважені ковзні математичні сподівання параметрів, згідно з виразами:

$$M_{vx} = \frac{1}{n} \sum_{i=1+j}^{n+j} V_{i-j} X_{i+j} \ , \ M_{vy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1+j}^{n+j} V_{i-j} Y_{i+j} \ ,$$

які дозволяють виконувати екстраполяцію та передбачення зміни станів технологічного процесу в часі, де V_{i-j} – вагова функція, що визначає інформативність виміряного значення технологічного процесу з нульовим ефектом старіння інформації, що дозволяє прогнозувати тенденцію та майбутні стани технологічного процесу;

- спектральні характеристики вимірюваних значень параметрів в області можливих значень норми, згідно виразів:

$$L_4 = \begin{Bmatrix} 0, S_1 < S_w < S_2 \\ 1, S_1 \geq S_w \geq S_2 \end{Bmatrix},$$

де $S_w = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} \rho_{xx}(j) \cdot w_j \cdot e^{-\alpha \cdot j}$, w - кругова частота косинусного перетворення Фур'є, $\rho_{xx}(j) = \frac{R_{xx}(j)}{D_x}$ - нормована і центрована автокореляційна функція контрольованого параметру технологічного процесу, $D_x = \sigma_x^2$ - дисперсія технологічного процесу, $R_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \dot{x}_i \cdot \dot{x}_{i+j}$ – центрована автокореляційна функція параметра технологічного процесу, $\dot{x}_i = x_i - M_x$;

- матрицю ймовірностей переходу технологічного процесу з одного стану в інший P_{ij}, де

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1j} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2j} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i1} & P_{i2} & \dots & P_{ij} & \dots & P_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{m1} & P_{m2} & \dots & P_{mj} & \dots & P_{mm} \end{pmatrix},$$

де (P_{ij}) – ймовірнісний стан норми, $\boxed{P_{ij}}$ – ймовірнісний стан прогнозу різних видів передаварійних станів, P_{ij} – ймовірнісний стан аварії, $i = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,n}$;

- оцінку кореляційної ентропії технологічного процесу, яка відображає деградацію кореляційних характеристик технологічного процесу і передбачає розвиток передаварійних станів технологічного процесу, згідно виразу:

$$I_x = n \cdot \hat{\mathrm{E}}\left[\frac{1}{2}\log_2 \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}\left(D_x^2 - R_{xx}^2(j)\right)\right],$$

де m – число точок автокореляційної функції, $\hat{E}[\bullet]$ – цілочисельна функція з округленням до більшого цілого [1];

Таким чином, контроль параметрів технологічного процесу з можливістю передбачення розвитку передаварійних та аварійних станів технологічного процесу, здійснюється згідно наступної послідовності операцій:

$$X_{ТП} = F(\{x_i\},\{y_i\},S,M_j,M_{xj},M_{yj},\sigma_x,\sigma_y,C_{xx}(j),R_{xy}(0),\rho_{xy},L_1,L_2,L_3,$$
$$M_x,M_y,M_{vx},M_{vy},L_4,\mathrm{P_{ij}},I_x),$$

де $\{x_i\},\{y_i\}$ – вимірювання параметрів технологічного процесу; S – ідентифікація квазістаціонарного стану технологічного процесу; M_j, M_{xj}, M_{yj} – визначення ковзних статистичних характеристик математичного сподівання; σ_x, σ_y – визначення середньоквадратичних оцінок дисперсії; $C_{xx}(j)$ – визначення структурної кореляційної функції; $R_{xy}(0)$ – визначення центрованої взаємокореляційної функції в нульовій точці між параметрами x_i, y_i; ρ_{xy} – визначення коефіцієнта нормованої взаємокореляції між кожною парою параметрів, на основі яких визначаються L_1, L_2, L_3, L_4 – логіко-статистичні оцінки порівняння вимірюваних значень параметрів в області можливих значень норми, відповідно по амплітуді (L_1), по динаміці (L_2) та фазі (L_3), по спектру (L_4), M_x, M_y – визначення вибіркових математичних сподівань; M_{vx}, M_{vy} – визначення зважених ковзних математичних сподівань; P_{ij} – визначення матриці ймовірностей переходу технологічного процесу з одного стану в інший; I_x – визначення оцінки кореляційної ентропії технологічного процесу.

У результаті виконання даних операцій досягається розширення функціональних можливостей контролю параметрів технологічного процесу; формування еталонного зображення образно-кластерної моделі стану технологічного процесу "норма", порівняння параметрів еталонного стану з виміряними, спостережуваними та розрахованими параметрами технологічного процесу "норма", "прогноз аварії" та "аварія" та ідентифікацію стану технологічного процесу відображенням на моніторі оператора образно-кластерної моделі.

Таке структуризоване відображення образно-кластерної моделі дозволяє передбачати та прогнозувати розвиток передаварійних станів та підвищити інформативність контролю параметрів технологічного процесу.

2. Підсистема контролю та ідентифікації відхилень на електричній підстанції та формування просторового зображення ОКМ. Стани силових вимикачів (*C*) у конкретних структурах ПС повинні відображатися на дисплеї оператора у вигляді відповідно просторово розміщених компонентів ОКМ.

Крім діагностування та відображення станів силових вимикачів у розподільчих вузлах пересилання електроенергії контролюються наступні параметри: напруга (*U*), струм (*I*), споживана потужність (*P*), частота (*F*), спектр (*S*).

В якості інформаційних даних ОКМ також входить стан засобів релейного захисту (*RZ*), а також обладнання, що контролює технологічні параметри силових трансформаторів (*TR*) (температура, рівень масла та ін.), стани засобів розпізнавання накидів, коротких замикань та запуску ПЕД (*PR*).

Таким чином, в залежності від структурної конфігурації ПС та відповідної номенклатури

обладнання системи комутації, релейного захисту та контролю технологічних даних обладнання ПС базовою основою інформаційних даних для побудови ОКМ складають наступні масиви:

C_i – стани силових вимикачів, $i \in 1,k$;

$V_i = (U_i, I_i, P_i, F_i, S_i)$ – вимірювальні параметри напруги, струму, потужності у вузлових точках ПС, промислової частоти та спектру гармонік, $i \in 1,n$;

RZ_i – інформаційні дані про стани засобів релейного захисту, $i \in 1,m$;

$TR_i = (t, h, ...)$ – інформаційні параметри силових трансформаторів, $i \in 1,r$ $

$PR_i = (N, C, Z)$ – ідентифікаційні параметри відповідно накиду, к.з. та запуску ПЕД.

У результаті наведеної систематизації інформаційних даних, які ідентифікуються на ПС в реальному часі і підлягають побудові та відображенню ОКМ на дисплеї оператора у вигляді характеристичного функціоналу:

$$X_{ПС} = \mathrm{F}(\{\mathrm{C_i}\}, \{V_i = (U_i, I_i, P_i, F_i, S_i)\}, \{\mathrm{RZ_i}\}, \{TR_i = (t, h, ...)\}, \{PR_i = (N, C, Z)\}).$$

Реалізація образно-кластерної моделі для різних станів ПС у порівнянні з еталонним, показано в таблиці 1.

Таблиця 1

Стани технологічного процесу ПС у порівнянні з еталонним

Стан технологічного процесу	**Параметри технологічного процесу**									
	$\{\mathrm{C_i}\}$	$\{V_i\}$	U_i	I_i	P_i	F_i	S_i	M_x	D_x	L_x
Еталон	•	•	•	•	•	•	•			
Норма	+	+	+	+	+	+	+			
Прогноз аварії	+	-	+	+	-	-	+			
Аварія	+	-	+	-	-	-	-			
Стан технологічного процесу	**Параметри технологічного процесу**										
	RZ_i	TR_i	t	h	L_1	L_2	L_3	PR_i	N	C	Z
Еталон	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Норма	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Прогноз аварії	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Аварія	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

На рис. 5 показано приклад просторового розміщення інформаційних даних про стани ПС:

1. Контроль відхилення параметрів логіко-статистичної інформаційної моделі: L_1, L_2, L_3 відхилення відповідно по амплітуді, динаміці, фазі (коефіцієнту взаємокореляції $\left\|\rho_{ij}\right\|$).

2. Стани силових вимикачів.

3. Відхилення по дисперсії.

4. Відхилення по частоті.

5. Контроль значень ковзних математичних сподівань M_x в межах заданих уставок регуляторів технологічних параметрів.

6. Відхилення параметрів відповідно накиду, к.з. та запуску ПЕД.

7. Математичні сподівання технологічних параметрів силового трансформатора.

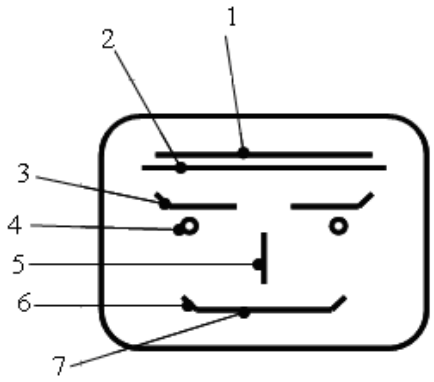


Рис. 5. Приклад просторового розміщення інформаційних даних про стани ПС

Просторове розміщення та склад контрольованих параметрів технологічних процесів на ПС можуть бути змінені згідно експертних висновків для конкретних типів ПС, їх архітектури та промислового

виконання.

3. Розробка програми та верифікація алгоритмів побудови ОКМ ПС для відображення технологічних станів ПС.

Система побудови образно-кластерної моделі стану об’єкту управління (ОУ) складається з двох частин – серверної та клієнтської.

Для реалізації серверної частини використано мову програмування Python (версія 3.4). Python – інтерпретована об'єктно-орієнтована мова програмування високого рівня з строгою динамічною типізацією. Структури даних високого рівня разом із динамічною семантикою та динамічним зв'язуванням роблять її привабливою для швидкої розробки програм, а також як засіб поєднання існуючих компонентів. Python підтримує модулі та пакети модулів, що сприяє модульності та повторному використанню коду. Інтерпретатор Python та стандартні бібліотеки доступні як у скомпільованій так і у вихідній формі на всіх основних платформах (Windows. Linux. MacOS). В мові програмування Python підтримується декілька парадигм програмування, зокрема: об'єктно-орієнтована, процедурна, функціональна та аспектно-орієнтована. Серед основних її переваг можна назвати такі:

- чистий синтаксис;
- переносимість програм (що властиве більшості інтерпретованих мов);
- стандартний дистрибутив має велику кількість корисних модулів (включно з модулем для розробки графічного інтерфейсу);
- можливість використання Python в діалоговому режимі (дуже корисне для експериментування та розв'язання простих задач);
- стандартний дистрибутив має просте, але разом із тим досить потужне середовище розробки;
- зручний для розв'язання математичних та інших наукових задач (має засоби роботи з комплексними числами, може оперувати з цілими числами довільної величини тощо);
- відкритий код (можливість редагувати його іншими користувачами).

Елегантний синтаксис Python, динамічна обробка типів, а також те, що це інтерпретована мова, роблять її ідеальною для написання скриптів та швидкої розробки прикладних програм у багатьох галузях на більшості платформ. Інтерпретатор мови Python може бути розширений функціями та типами даних, розробленими на C (або на іншій мові, яку можна викликати із C). Python також зручна як мова розширення для прикладних програм, що потребують подальшого налагодження.

Клієнтська частина системи реалізована як веб-сторінка, побудована з використанням мови розмітки гіпертекстових документів HTML (англ. HyperText Markup Language) та каскадної таблиці стилів (англ. Cascading Style Sheets або скорочено CSS — спеціальна мова, що використовується для опису сторінок, написаних мовами розмітки даних). Така реалізація клієнтської частини дає можливість проводити моніторинг стану ОУ використовуючи практично будь-який браузер інтернет-сторінок з будь-якого сучасного пристрою, який має можливість доступу до локальних мереж або мережі Інтернет (стаціонарні комп’ютери, ноутбуки, нетбуки, планшети, смартфони та інші цифрові пристрої). Тобто, при правильному налаштування каналу доступу до сервера (наприклад через VPN) через Інтернет буде можливість проводити моніторинг системи перебуваючи практично у будь-якій точці світу.

Для реалізації безпосередньо моделі стану ОУ використовується зображення у форматі SVG (Scalable Vector Graphics – з англ. «масштабована векторна графіка» — специфікація мови розмітки, що базується на XML, та формат файлів для двовимірної векторної графіки, як статичної, так і анімованої та інтерактивної).

На сервері, до якого під’єднаний груповий контролер (на який поступає інформація від сенсорів) запускається програма-скрипт на мові Python (файл smile.py). Вказана програма циклічно опрацьовує інформацію (набори даних) від сенсорів (змінна SENSOR_QTY містить їх кількість, в даному випадку SENSOR_QTY = 8) і, на підставі проведення ряду розрахунків для кожного набору даних, вираховуються наступні характеристики: математичне сподівання вибіркове, математичне сподівання зважене, математичне сподівання ковзне, дисперсія, середнє квадратичне відхилення, значення для побудови логіко-статистичних інформаційних моделей (ЛСІМ1-ЛСІМ4), …

Значення по кожній групі обчислених характеристик є базовими значеннями для побудови кінцевої матриці (у програмі змінна FINAL_MATRIX). Відповідно, ця кінцева матриця є джерелом для побудови безпосередньо моделі стану ОУ.

Результатом завершення кожного циклу програми-скрипта smile.py є векторне графічне зображення у форматі SVG – файл face_real.svg.

Висновки. Викладений новий метод структуризації інформаційних потоків стосовно дистанційного моніторингу ОУ, який суттєво підвищує рівень інтегрованості представлення моделі квазістаціонарного об'єкта. Показано, що результати реалізації такого класу моделей можуть бути ефективно використані у електроенергетиці, а також інших галузях, об'єкти яких характеризуються вибухо- і екологонебезпечними властивостями.

Література

1. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації / Николайчук Я.М. – Тернопіль : ТНЕУ, 2008. – 536 с.

2. Computer technologies in information security / Natalia Vozna and others / edited by Valeriy Zadiraka, Yaroslav Nykolaichuk. – Ternopil: "Kart-blansh", 2015. – 387 p.

3. Николайчук Я.М. Теоретичні основи формування ентропійних моделей на базі кореляційних функцій / Я.М. Николайчук, І.О. Сабадаш, А.І. Сегін // Інформаційні технології і системи : науково-технічний журнал. – Львів, 2002. – Т. 5. – № 1–2. – С. 13–21.

4. Николайчук Я.М. Коди поля Галуа: теорія та застосування : монографія / Николайчук Я.М. – Тернопіль : ТзОВ «Терно-граф», 2012. – 576 с.

5. Релейний захист електроенергетичних систем : навч. посібник / В.П. Кідиба. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2015. – 504 с.

6. Сабадаш І.О. Новітні мікропроцесорні технології в експлуатації мереж 6–35 кВ / І.О. Сабадаш. – Электрические сети и системы. – 2010. – № 6. – С. 53–57.

7. Пат. 107039 Україна МПК G05B 23/00 (2016.01), G06F 11/277 (2006.01). Спосіб контролю параметрів технологічного процесу / Пітух І.Р., Возна Н.Я., Процюк Г.Я., Николайчук Я.М. – №u201507057; заявл.15.04.2015 ; опубл.25.05.2016, Бюл. № 10/2016.

8. Метод структуризации образно-кластерной модели состояний квазистационарного объекта управления / Н.Я. Возна, Н.И. Алишов, Г.Я. Процюк, Я.Н. Николайчук // Journal of Qafqaz University. Mathematics and Computer Science. – Baku. Azerbaijan, 2015. – Volume 3, № 2. – P. 105–115.

References

1. Nykolaichuk Ya.M. Theory of information sources. Ternopol: TNEU. 2008. 536 p.

2. Computer technologies in information security / Natalia Vozna and others / edited by Valeriy Zadiraka, Yaroslav Nykolaichuk. - Ternopil: "Kart-blansh", 2015. - 387p.

3. Nykolaichuk Y.M., Sabadash I.O., Segin A.I. Theoretical Foundations of the Formation of Entropy Models Based on Correlation Functions // Information Technologies and Systems .- Scientific and Technical Journal. Lviv. 2002. - T. 5. - No. 1-2. - P. 13-21.

4. Nykolaichuk Ya. Galois field codes: theory and application. Monograph - Ternopil: Terno-graf, 2012. 576 p.

5. Relay protection of power systems: training. manual / V.P. Kidiba. - Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2015. – 504 p.

6. Sabadash I.O. Newest microprocessor technologies in operation of networks 6–35 kV / Sabadash I.O. – Electrical networks and systems, 2010. - № 6. – P. 53-57.

7. Patent 107039 Ukraine MPK G05V 23/00 (2016.01), G06F 11/277 (2006.01). A method for controlling the parameters of a technological process / Pitukh I.R., Vozna N.Ya., Protsyuk G.Ya., Nykolaichuk Y.M., Bul. № 10/2016.

8. Method of structuring the image-cluster model quasi state control object / N. Vozna, N. Alishov, G. Protsyuk, Ya. Nykolaichuk // Journal of Qafqaz University. Mathematics and Computer Science. - Baku. Azerbaijan, 2015. - Volume 3, № 2. - P. 105–115.

Рецензія/Peer review : 15.11.2017 р. Надрукована/Printed :06.02.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Я.М. Николайчук

УДК 621.313

С.М. БОЙКО, А.В. НЕКРАСОВ
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
С.Я. ВИШНЕВСЬКИЙ, О.М. НАНАКА
Вінницький національний технічний університет

ОСОБЛИВОСТІ РЕЖИМІВ КОМПЛЕКСУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ-ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ГВК ПІД ЧАС ВПРОВАДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID

Актуалізація більш ефективного використання електричної енергії на промислових підприємствах пов'язана зі зростанням цін на електроенергію і зростанням її частки в собівартості продукції. Скорочення цієї частки можливе за умов впровадження автоматизації управління режимом споживання електричної енергії та встановлення відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в системах електропостачання. Одним з основних факторів переходу від звичайного споживання на активне споживання електричної енергії в умовах підприємств ГВК є зниження собівартості залізорудної сировини та підвищення надійності системи електропостачання. Найбільший ефект очікується під час впровадження та взаємодії технологій інтелектуальних мереж, систем керування навантаженням та впровадження ВДЕ. Тому необхідно розглядати електроенергетичну систему як повністю інтегровану, саморегулюючу і самовідновлювану систему підприємства, що має мережеву топологію та включає в себе всі генеруючі джерела, магістральні та розподільні мережі і всі види споживачів електричної енергії (у тому числі й активних споживачів), керовані єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем у режимі реального часу. Беручи до уваги можливості впровадження ВДЕ в умовах підприємств ГВК, можна зазначити актуальність та наявність підґрунтя для впровадження мГЕС в систему електропостачання підприємств ГВК. Використання активного споживача дає можливість регулювання графіка споживання електричної енергії кожного споживача окремо, з метою зменшення вартості спожитої електричної енергії. У статті запропоновано зменшення сумарних витрат на виробництво, передачу та розподіл електроенергії на підприємствах гірничо-видобувного комплексу шляхом зміни режиму електроспоживання кожного окремого електроприймача як окремої структурної ланки єдиної системи електроспоживання промислового підприємства.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, системи електропостачання, активний споживач, гірничо-видобувний комплекс, Smart Grid.

S. M. BOYKO, A. V. NEKRASOV
Kremenchuck Mykhailo Ostrohradskyi National University
S. Y. VYSHNEVSKY, O. M. NANAKA
Vinnytsia National Technical University

FEATURES OF THE MODES OF THE COMPLEX OF ELECTRICAL SUPPLY AND ELECTRICAL CONSUMPTION OF THE MINING COMPLEX COMPANIES DURING IMPLEMENTATION OF THE SMART GRID CONCEPT

Actualization of more efficient use of electric energy at industrial enterprises is connected with the growth of electricity prices and the growth of its part in the cost price of products. The reduction of this part is possible under the conditions of introduction of automation of the mode control of consumption of electric energy and the establishment of renewable energy sources (RES) in electricity supply systems. One of the main factors of the transition from ordinary consumption to active consumption of electric energy in the conditions of the mining complex enterprises is the reduction of the cost of iron ore raw materials and increasing of the reliability of the electricity supply system. The greatest effect is expected during implementation and interaction of intelligent network technologies, load management systems, and implementation of RES. Therefore, it is necessary to consider the electric power system as a fully integrated, self-regulating and self-repairing system of the enterprise, which has a network topology and includes all generating sources, main and distributive networks and all types of consumers of electric energy (including active consumers), managed by a single network of information-control devices and systems in real time. Taking into account the possibilities of RES introducing in the conditions of mining complex enterprises, it is possible to note the urgency and availability of the basis for the implementation of the small hydroelectric stations in the electricity supply system of the mining complex enterprises. The use of an active consumer enables the regulation of the schedule of electricity consumption for each consumer separately, in order to reduce the cost of consumed electricity. The article proposes a reduction of the total cost of production, transmission and distribution of electricity at the mining enterprises by changing the mode of electricity consumption of each individual electric collector as a separate structural unit of the unified system of electric consumption of an industrial enterprise.

Keywords: renewable energy sources, electrical supply system, active consumer, mining complex, Smart Grid.

Вступ

Ефективне використання електричної енергії на промислових підприємствах є найважливішою задачею енергетичної галузі. Це пов'язано зі зростанням цін на електроенергію і зростанням її частки в собівартості продукції, що особливо актуально для підприємств гірничо-видобувного комплексу (ГВК) України. Стратегічним напрямом, що дозволяє скоротити цю частку, є автоматизація управління режимом споживання електричної енергії та впровадження відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в системах електропостачання [1].

Концепція інтелектуальної енергетики Smart Grid включає в себе такі складові, як активне споживання, розосереджена генерація (РГ), інтелектуальне вимірювання, нові системи автоматизації та контролю, керування попитом.

Матеріал та результати досліджень

Як відзначалося раніше, одним з основних факторів переходу від звичайного споживання на активне споживання електричної енергії в умовах підприємств ГВК є зниження собівартості залізорудної сировини та підвищення надійності системи електропостачання. В свою чергу, найбільший ефект очікується при впровадженні та взаємодії технологій інтелектуальних мереж, систем керування навантаженням, впровадження ВДЕ [2–4].

Відповідно до цієї концепції, електроенергетична система розглядається як повністю інтегрована, саморегулююча і самовідновлювана система підприємства, що має мережеву топологію та включає в себе всі генеруючі джерела, магістральні та розподільні мережі і всі види споживачів електричної енергії (у тому числі й активних споживачів), керовані єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем у режимі реального часу [5, 6].

Таким чином, цільовою функцією при виборі оптимального режиму електроспоживання є мінімум сумарних витрат [7, 8]:

$$\sum C = C_e + C_n = \sum_{i=1}^{\tau} (B_к + К_{еф} \cdot K_i), \quad (1)$$

$$C_e = C_в + C_{пер.} + C_{розп.},$$

$$C_в = C_{в.СЕС} + C_{в.ВЕС} + C_{в.ГЕС} + C_{в.мережі},$$

$$C_{передачі} = C_{перед.мережі} + C_{передВДЕ},$$

$$C_{розп.} = C_{розп.СЕС} + C_{розп.ВЕС} + C_{розп.ГЕС} + C_{розп.мережі},$$

де C_e – сума витрат на виробництво, передачу та розподіл електроенергії;
$C_в$ – сума витрат на виробництво електроенергії;
$C_{в.ГЕС}$ – сума витрат на виробництво електроенергії за допомогою ГЕС;
$C_{в.ВЕС}$ – сума витрат на виробництво електроенергії за допомогою ВЕС;
$C_{в.СЕС}$ – сума витрат на виробництво електроенергії за допомогою СЕС;
$C_{пер}$ – сума витрат на передачу електроенергії;
$C_{перед.мережі}$ – сума витрат на передачу електроенергії від мережі;
$C_{передВДЕ}$ – сума витрат на передачу електроенергії від відновлювальних джерел електричної енергії;
$C_{розп.}$ – сума витрат на розподіл електроенергії;
$C_{розп.СЕС}$ – сума витрат на розподіл електроенергії за допомогою СЕС;
$C_{розп.ВЕС}$ – сума витрат на розподіл електроенергії за допомогою ВЕС;
$C_{розп.ГЕС}$ – сума витрат на розподіл електроенергії за допомогою ГЕС;
C_n – сума витрат, пов'язаних з використанням електроенергії в народному господарстві;
K_i – капітальні витрати в комплексі «Енергосистема – споживач»;
$B_к$ – витрати комплексу «енергосистема – споживач»;
$K_{еф}$ – коефіцієнт внутрішньої ефективності.

Додаткові витрати підприємства на модернізацію системи електроспоживання визначаються з виразу

$$\Delta З_n = \Delta I_п + K_{еф} \cdot \Delta K_п, \quad (2)$$

де $\Delta I_п$ – збільшення витрат виробництва підприємства в режимі вирівнювання;
$\Delta K_п$ – додаткові капітальні витрати.

Беручи до уваги наведені раніше результати досліджень, щодо можливості впровадження ВДЕ в умовах підприємств ГВК [2–7], можна зазначити актуальність та наявність підгрунтя для впровадження мГЕС в систему електропостачання підприємств ГВК (рис. 1).

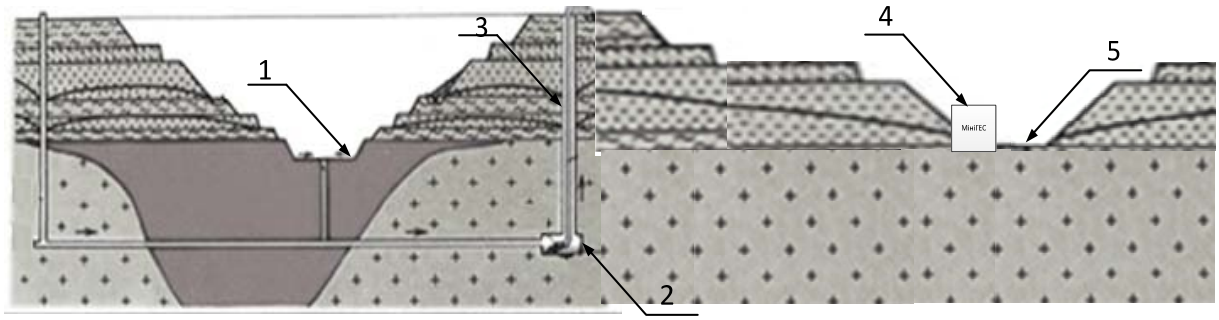


Рис. 1. Технологічна схема відкачування води з кар'єру:
1 – місце накопичення води для відкачування; 2 – насос для відкачування води; 3 – труба, по якій відкачується вода з кар'єру; 4 – турбіна міні ГЕС, 5 – відстійники (хвостосховище)

При підземному водовідливі в кар'єрі вода перекачується або відводиться в спеціальні дренажно-водовідвідні вироблення (штреки), пройдені з ухилом у бік водозбірника з насосною камерою, звідки вона

відкачується насосами на поверхню через водовідливні стволи або свердловини в поверхневі потоки або водойми. При цьому використовуються в основному ті ж насоси.

Після того як було побудовано графік роботи при відкачуванні води з кар'єру підстанції «Шахта» був побудований погодинний графік роботи насосів, тобто отримано витрати води для даної підстанції (рис. 2).

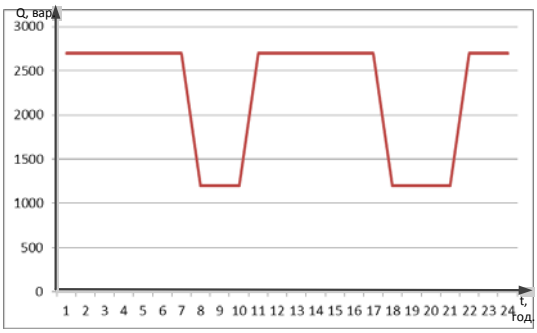


Рис. 2. Витрати води погодинно підстанції «Шахта»

Наступним кроком є розрахунок генерації електроенергії.

Згенерована потужність залежить від витрат води, при відкачуванні її з кар'єру. Відповідно до даних витрат, потужність розрахована за формулою:

$$N = \left(\frac{\left(\rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta \right)}{3600} \right) / 1000, \tag{3}$$

де ρ – густина води;

g – прискорення вільного падіння;

Q – витрати води;

H – напір;

η – ККД гідроустановки.

Відповідно до графіка витрати води, було побудовано графік генерації електроенергії при використанні міні ГЕС, на виході труби відкачування (хвостосховище) (рис. 3).

Наступним кроком є розрахунок коштів які можуть бути заощаджені при використанні згенерованої потужності даною міні ГЕС, оскільки сума згенерованої потужності міні ГЕС дорівнює сумі заощадженої електричної енергії.

$$P_{ген} = P_{з}, \tag{4}$$

де $P_{ген}$ – згенерована потужність;

$P_{з}$ – заощаджена потужність.

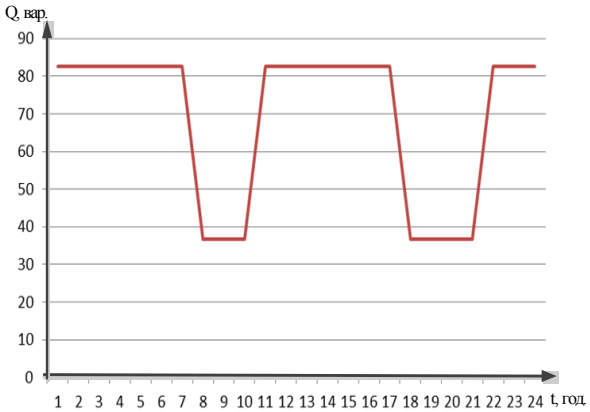


Рис. 3. Генерація електроенергії при використанні міні ГЕС, на виході труби відкачування (хвостосховище)

Вартість електричної енергії за трьохтарифним обліком розраховується за формулою:

$$Ц_{ее3} = (\sum P_{зт_1} \cdot t_{t1} \cdot k_{t1} \cdot \mathrm{T_{ee}}) + (\sum P_{зт_2} \cdot \mathrm{t}_{t2} \cdot k_{t2} \cdot \mathrm{T_{ee}}) + (\sum P_{зт3} \cdot \mathrm{t}_{t3} \cdot k_{t3} \cdot \mathrm{T_{ee}}), \tag{5}$$

де t_{t1}, t_{t2}, t_{t3} – інтервали роботи насосів у тарифних зонах (t_{t1} – з 23:00 до 06:00; t_{t2} – з 6 год до 8 год, з 10 год до 17 год, з 21 год до 23 год, t_{t3} – з 8 год до 10 год, з 17 год до 21 год), в годинах;

$\sum P_{зт1}, \sum P_{зт2}, \sum P_{зт3}$ – сума заощадженої електричної енергії у першій, другій та третій тарифних зонах, в кВт;

$\mathrm{T_{ee}}$ – тариф за електроенергію в гривнях;

k_{t1}, k_{t2}, k_{t3} – коефіцієнт тарифних зон ($k_{t1} = 0{,}35$; $k_{t2} = 1{,}02$; $k_{t3} = 1{,}8$).

В дробильний цех № 2 входить 5 дренажних насосів маркою АД 180М2 потужністю 30 кВт кожний, графік роботи яких наведено на рис. 4, 5.

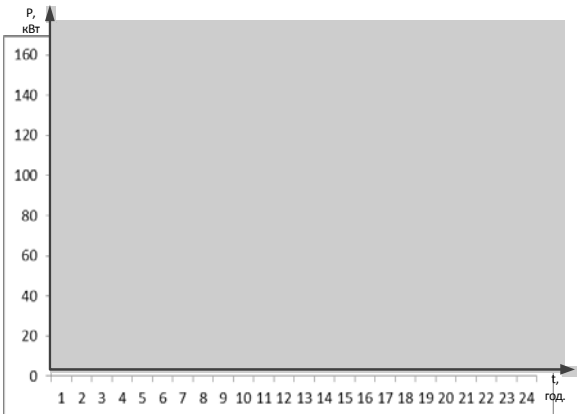


Рис. 4. Графік роботи дренажних насосів дробильного цеху № 2

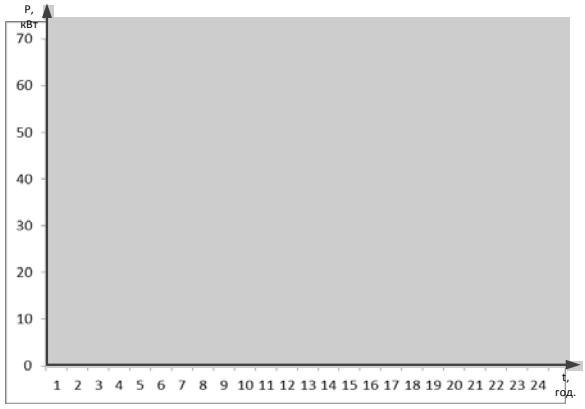


Рис. 5. Графік роботи дренажних насосів 1 та 2 дробильного цеху № 2 до оптимізації

В подальшому було проведено оптимізацію відповідно до добового графіка споживання електричної енергії дренажних насосів (рис. 6).

В результаті було підтверджено, що використання активного споживача дає можливість регулювання графіка споживання електричної енергії кожного споживача окремо, з метою зменшення вартості спожитої електричної енергії. Так, при використанні 3-тарифного обліку електричної енергії та оптимізувавши графік споживання електричної енергії, є можливість зекономити до 10% вартості електричної енергії не змінивши при цьому технологічного циклу відкачування води [8].

Графік електроспоживання насосів 1 та 2 дробильного цеху № 2 співпадає з графіком генерування електроенергії від міні ГЕС.

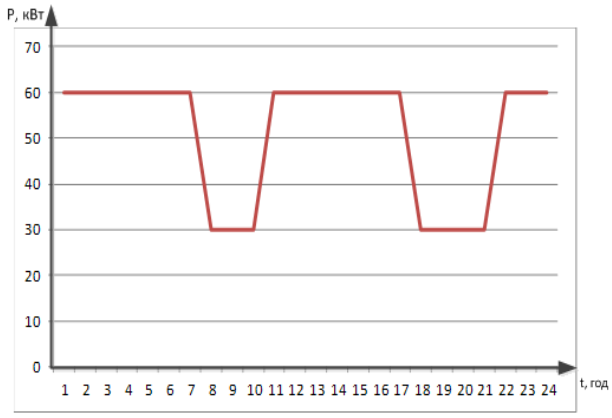


Рис. 6. Графік роботи дренажних нососів 1 та 2 дробильного цеху № 2 після оптимізації

Таким чином згенерована електроенергія споживається повністю. Економія електроспоживання дренажних насосів дробильного цеху № 2 складає 40%.

Висновки

1. За результатами дослідження доведено актуальність впровадження концепції Smart Grid, в умовах підприємств гірничо-видобувної галузі.

2. У статті проаналізовано особливості режимів комплексу електропостачання-електроспоживання підприємств гірничо-видобувного комплексу під час впровадження концепції Smart grid.

3. В результаті оптимізації режиму роботи та впровадження в систему електропостачання дренажних насосів дробильних цехів мГЕС, є можливість зекономити до 40 % електричної енергії.

Література

1. Кириленко А. В. Смарт-грид в ракурсе системной методологи / А. В. Кириленко, В. Я. Жуйков // Пр. Ін-ту електродинаміки Національної академії наук України : зб. наук. пр. Спец. вип. – 2011. – Ч. 1. – С. 63–71.

2. Потенциал электроэнергоэффективности и пути его реализации на производствах с подземными способами добычи железорудного сырья / И.О. Синчук, Э.С. Гузов, А.Н. Яловая и др. / за ред. О. Н. Синчука. – Кременчук : Изд. ЧП Щербатых А. В., 2015. – 296 с.

3. Энергоэффективность железорудных производств. Оценка, практика повышения / О. М. Сінчук, И. О. Синчук, Э. С. Гузов и др. – Изд. LAP LAMBERT Academic Publishing is managed by OmniScriptum Management GmbH., 2016. – 346 с.

4. Відновлювані та альтернативні джерела енергії : навч. посібник / [Сінчук О. М., Сінчук І. О., Бойко С. М., Мельник О. Є.]. – Кременчук : Вид-во ПП Щербатих О. В., 2015. – 270 с.

5. Відновлювальні джерела електричної енергії / [О. М. Сінчук, І. О. Сінчук, С. М. Бойко та ін.]. – Кременчук : Вид-во ПП Щербатих О. В., 2014. – 192 с. – ISBN 3–486–26306–4.

6. Праховник А. В. Принципи організації взаємодії компонент смарт мереж / А. В. Праховник, С. П. Денисюк, О. В. Коцар // Техн. електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 51–52.

7. Кириленко О. В. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими / Кириленко О. В., Танкевич С. Є., Жуйкою В. Я. ; за заг. ред. О. В. Кириленка; Інститут електродинаміки НАН України. – К. : Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. – 400 с.

8. Кириленко А. В. Интеллектуальные электроэнергетические системы: элементы и режимы / под общ. ред. А. В. Кириленко ; Институт электродинамики НАН Украины. – К. : Ин-т электродинамики НАН Украины, 2014. – 408 с.

References

1. Kirilenko A. V. Smart-grid v rakurse sistemnoj metodologi / A. V. Kirilenko, V. YA. ZHujkov // Pr. In-tu elektrodinamiki Nacional'noi akademii nauk Ukrainy : zb. nauk. pr. Spec. vip. – 2011. – CH. 1. – S. 63–71.

2. Potencial elektroenergoeffektivnosti i puti ego realizacii na proizvodstvah s podzemnymi sposobami dobychi zhelezorudnogo syr'ya / I.O. Sinchuk, E.S. Guzov, A.N. YAlovaya i dr. / za red. O. N. Sinchuka. – Kremenchuk : Izd. CHP SHCHerbatyh A. V., 2015. – 296 s.

3. Energoeffektivnost' zhelezorudnyh proizvodstv. Ocenka, praktika povysheniya / O. M. Sinchuk, I. O. Sinchuk, E. S. Guzov i dr. – Izd. LAP LAMBERT Academic Publishing is managed by OmniScriptum Management GmbH., 2016. – 346 s.

4. Vidnovliuvani ta alternatyvni dzherela enerhii : navch. posibnyk / [Sinchuk O. M., Sinchuk I. O., Boiko S. M., Melnyk O. Ye.]. – Kremenchuk : Vyd-vo PP Shcherbatykh O. V., 2015. – 270 s.

5. Vidnovliuvalni dzherela elektrychnoi enerhii / [O. M. Sinchuk, I. O. Sinchuk, S. M. Boiko ta in.]. – Kremenchuk : Vyd-vo PP Shcherbatykh O. V., 2014. – 192 s. – ISBN 3–486–26306–4.

6. Prakhovnyk A. V. Pryntsypy orhanizatsii vzaiemodii komponent smart merezh / A. V. Prakhovnyk, S. P. Denysiuk, O. V. Kotsar // Tekhn. elektrodynamika. – 2012. – 3. – S. 51–52.

7. Kyrylenko O. V. Intelektualni elektrychni merezhi: elementy ta rezhymy / Kyrylenko O. V., Tankevych S. Ye., Zhuikoiu V. Ya. ; za zah. red. O. V. Kyrylenka; Instytut elektrodynamiky NAN Ukrainy. – K. : In-t elektrodynamiky NAN Ukrainy, 2016. – 400 s.

8. Kirilenko A. V. Intellektual'nye elektroenergeticheskie sistemy: elementy i rezhimy / pod obshch. red. A. V. Kirilenko ; Institut elektrodinamiki NAN Ukrainy. – K. : In-t elektrodinamiki NAN Ukrainy, 2014. – 408 s.

Рецензія/Peer review : 06.11.2017 р. Надрукована/Printed :02.02.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. О.М. Сінчук

УДК 681.7.535

В.М. СОКУРЕНКО, М.М. ВАКУЛЕНКО
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК ОКУЛЯРІВ З ДИФРАКЦІЙНИМИ ОПТИЧНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Метою статті є автоматизація процедури отримання нових оптичних систем з дифракційними оптичними елементами. У статті запропоновано підхід для синтезу нових оптичних систем з дифракційними поверхнями на основі сучасного методу глобальної оптимізації – адаптивного методу диференційної еволюції Коші. В роботі синтезовано дві оптичні системи окулярів, які містять дифракційні поверхні та мають практично дифракційно-обмежену якість зображення. Проведене чисельне порівняння з аналогами з патентної літератури доводить ефективність запропонованого підходу.

Ключові слова: дифракція, оптична система, дифракційний елемент, окуляр, глобальна оптимізація.

V.M. SOKURENKO, M.M. VAKULENKO
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

AUTOMATED DESIGN OF EYEPIECES WITH DIFFRACTION OPTICAL ELEMENTS

The known approaches for optical design presume applying either the theory of the third-order or fifth-order aberrations or optimization of existing optical solutions. The disadvantage of the first approach is a boundedness of the solution to the finite-order aberrations, while the second one requires to use an initial system with satisfactory image quality. Therefore, it would be desirable to have a versatile method that would not require a high-quality starting system as well as an experienced and high-skilled optical designer. In recent years, various algorithms of global optimization became popular in optical design. The obvious advantages of such methods are the proved efficiency, the ability to synthesize new optical systems, as well as high performance. However, many of them require to apply significant computing resources. Thus, robust and fast algorithm of global optimization are in demand. The purpose of this article is to automate the process of obtaining new optical systems with diffractive optical elements. A computer-aided approach has been proposed for synthesis of new optical systems having diffraction surfaces. It is based on one of the modern techniques of global optimization, namely, an adaptive Cauchy differential evolution algorithm. In general, the original algorithm of differential evolution solves an optimization problem by processing a population of candidate solutions, creating new candidate solution based on combination of existing ones, and keeping the best merit function found. An adaptive Cauchy differential evolution algorithm additionally involves adaptation of control parameters, such as scaling factor (F) and crossover rate (CR). By using the Cauchy distribution, these control parameters are adapted for each individual based on the average parameter values obtained among successfully evolved individuals. As examples, two almost diffraction-limited optical systems have been synthesized in this work. The results of comparison performed with patented analogues prove the efficiency of the proposed approach.

Keywords: diffraction, optical system, diffraction surface, eyepiece, DOE.

Вступ

В останні декади, з того часу як мікролітографію почали широко використовувати у виробництві оптичних елементів, дифракційна оптика зазнала значного розвитку. В наш час виробництво дифракційних оптичних елементів набуло досконалості, дифракційні елементи все більше використовують в різноманітних оптичних системах, з'являються нові сфери застосування та нові інтегровані оптичні системи [1].

Дифракційні оптичні елементи мають ряд переваг. Наприклад, дифракційні лінзи можуть використовуватися для зменшення кількості елементів у звичайних лінзових системах. Крім того, їх часто застосовують як альтернативний спосіб для корекції хроматичних аберацій. Дифракційні лінзи являють собою ґратки зі сталим або змінним періодом, який обумовлює їх властивості. При використанні дифракційних поверхонь стає можливим проектування гібридних елементів для отримання ахроматичних скоригованих елементів за рахунок того, що дифракційні поверхні має від'ємні коефіцієнти дисперсії. В звичайних оптичних системах сферична аберація є, як правило, однією з важливих первинних аберацій, оскільки без її задовільної корекції не вдається отримати високу якість зображення навіть на оптичній осі. Використання ж дифракційних оптичних елементів дозволяє зменшити шкідливу дію сферичної аберації [2].

Прикладом використання дифракційних оптичних елементів можуть бути дифракційно-рефракційні мультифокальні інтраокулярні лінзи [3]. На початку 80-х років було запропоновано біфокальні дифракційно-рефракційні лінзи, в яких ефект біфокальності досягається за рахунок дифракції світлового потоку на неперервному мікрорельєфі поверхні лінзи. Це дозволяє отримати однакові за інтенсивністю нульовий та перший порядки дифракції. Щоб забезпечити такий розподіл інтенсивності за порядками, зміна фази між дифракційними зонами має бути рівною π. Це відповідає глибині мікрорельєфу близько 1,6 мкм для лінзи з показником заломлення матеріалу 1,5 [1].

В патенті США №006473232B2 [4] компанії «Canon» розглянуті приклади корекції хроматизму об'єктивів шляхом додавання у системи дифракційної поверхні.

Існуючі підходи до проектування грунтуються на теорії аберацій 3-го або 5-го порядку [5] або ж на оптимізації готових оптичних систем. Недоліком першого підходу є обмеженість розв'язку аберраціями кінцевого порядку, а другого – необхідність використання вихідної системи з задовільною якістю зображення. Тому бажано було б мати універсальний спосіб, який не потребував би якісної стартової системи та досвідченого висококваліфікованого розробника.

Останніми роками в різних галузях науки та техніки все більшої популярності набувають сучасні

алгоритми глобальної оптимізації. Їх перевагами є швидкість та ефективність (результативність), можливість синтезу нових систем, висока швидкодія та різноманітність застосування. Однак, треба зазначити, що багато з них можуть вимагати залучення значних обчислювальних ресурсів, особливо для багатолінзових систем.

Метою роботи є автоматизація процедури отримання нових оптичних систем з дифракційними оптичними елементами. Ця мета досягається використанням одного з сучасних методів глобальної оптимізації для синтезу оптичних систем з дифракційними оптичними поверхнями. Так, зокрема, в даній роботі застосовується адаптивний метод диференційної еволюції Коші, запропонований та розглянутий у статтях [6, 7].

Запропонований підхід

Без втрати універсальності, для опису дифракційного елемента, в даній роботі пропонується використовувати дифракційні поверхні, фаза яких описується таким виразом:

$$\Phi = M\sum_{i=1}^{N} A_i \rho^{2i} \qquad (1)$$

де N – кількість поліноміальних коефіцієнтів; A_i – коефіцієнт при ρ^2; ρ – нормована радіальна координата апертури; M – порядок дифракції.

Вище зазначалося, що для синтезу довільної оптичної системи з дифракційною оптичною поверхнею пропонується задіяти один з сучасних методів глобальної оптимізації – адаптивний метод диференційної еволюції Коші. Особливістю цього методу є те, що кожен змінний пошуковий параметр має свої контрольні параметри-показники диференційної еволюції. Ідея такого підходу така – на кожній новій ітерації алгоритму його параметри адаптуються на основі середніх значень показників, отриманих під час попередніх ітерацій. Нові значення показників генеруються на основі розподілу Коші. На рис. 1 наведена узагальнена блок-схема алгоритму.

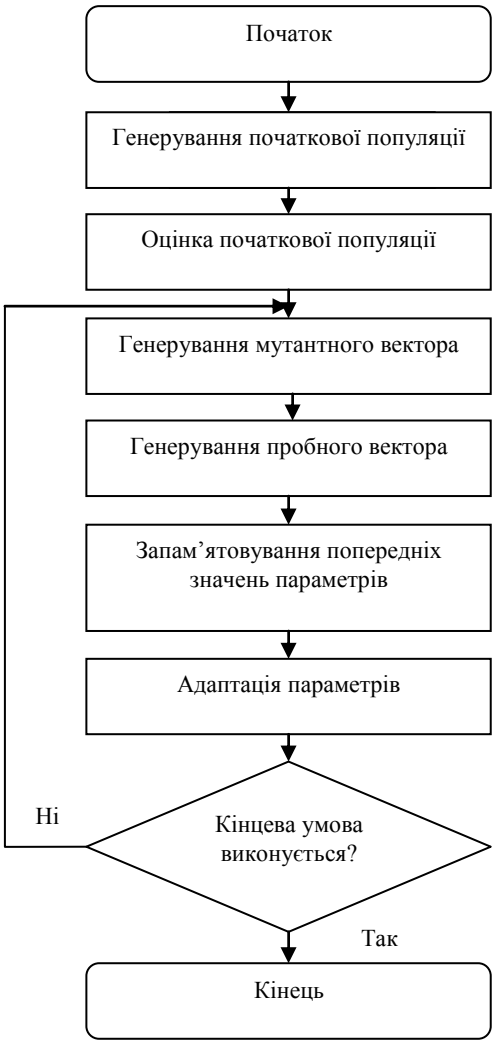


Рис. 1. Узагальнена блок-схема адаптивного методу диференційної еволюції Коші

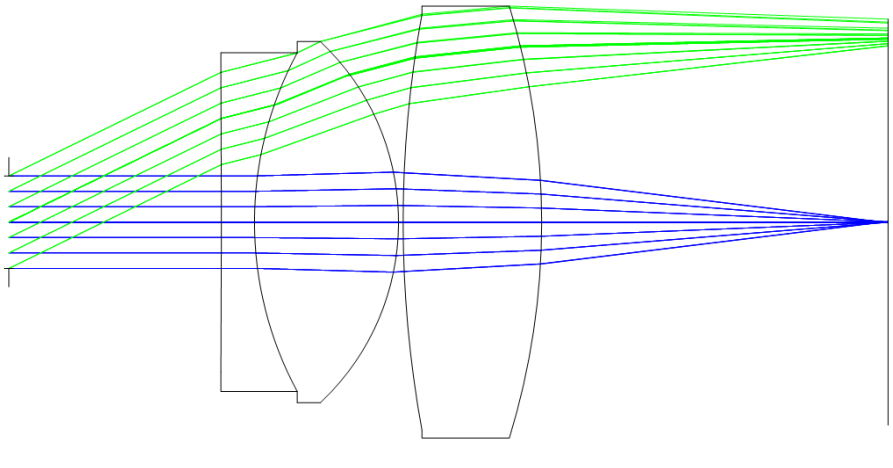
Приклади розрахунку

Як перший приклад було вибрано окуляр (приклад К-1) із заявки на патент США №20100254005A1 компанії NIKON Corporation [8]. Цей окуляр містить першу групу лінз, в якій перша лінза – позитивна, друга – негативна, і третю позитивну лінзу. Таким чином, перша група лінз в цілому має позитивну заломлюючу силу. У даному прикладі багатошаровий дифракційний оптичний елемент є сполученим із зовнішньою поверхнею позитивної лінзи.

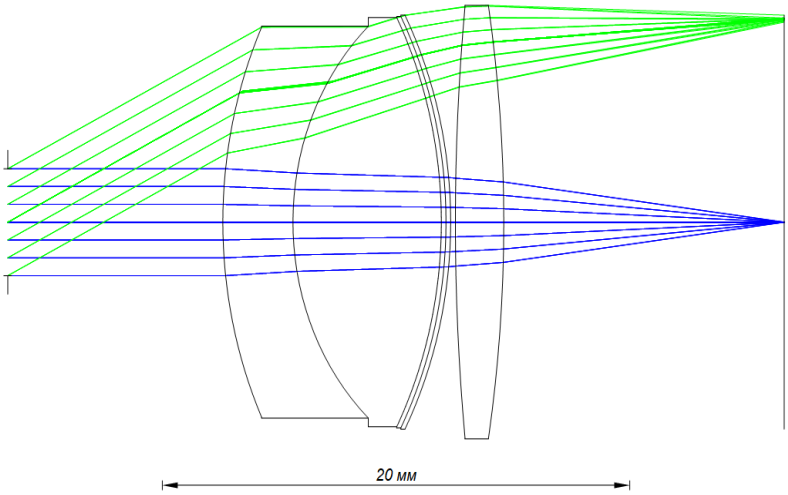
Окуляр має передню фокусну відстань 16,6 мм, кутове поле зору у просторі предметів 52°, діаметр вхідної зіниці 4 мм та призначений для роботи у спектральному діапазоні 0,486…0,656 мкм з основною довжиною хвилі 0,587 мкм. Під час його параметричного синтезу було встановлено додаткові обмеження на загальну осьову довжину (від першої поверхні до площини зображень) – 30 мм та максимальне допустиме значення дисторсії – 2%.

На рис. 2б показана оптична схема розробленого окуляра, а в табл. 1 – його конструктивні параметри.

В порівнянні з варіантом з виключно сферичними заломлюючими поверхнями, в оптичній системі, що містить дифракційну поверхню, аберації виправлені краще. Так, середньоквадратичний радіус світлової поліхроматичної плями на осі дорівнює 3,9 мкм (в оптимізованому варіанті з виключно сферичними заломлюючими поверхнями – 17,6 мкм). Дисторсія розрахованого об'єктива по всьому полю зору є меншою за 2%. Для осьового пучка та основної довжини хвилі перепад хвильового фронту не перевищує 0,05λ, а середньоквадратична похибка хвильового фронту не перевищує 0,012λ. Відповідні графіки поліхроматичних модуляційних передавальних функцій (МПФ) наведено на рис. 3.



а



б

Рис. 2. Оптичні схеми окуляра з ходом променів:
а – оптимізований варіант з виключно сферичними заломлюючими поверхнями;
б – розрахований варіант з дифракційною поверхнею

Таблиця 1

Конструктивні параметри розрахованого окуляра

Номер поверхні	Радіус кривизни поверхні, мм	Осьова товщина, мм	Показник заломлення n_d та коефіцієнт дисперсії v_d		Світловий діаметр, мм
Предмет	∞	∞	–		–
1 (апертурна діафрагма)	∞	9,2	–		2,0
2	16,892	3	1,795; 28,56		7,29
3	9,943	6,35	1,498; 82,52		7,33
4 (дифр. поверхня)	-16,312	0,2	1,528; 34,71		7,653
5	-16,312	0,2	1,557; 50,17		7,698
6	-16,312	0,2	–		7,744
7	79,122	2,07	1,589; 61,09		8,068
8	-50,287	12	–		8,11
Зображення	∞	–	–		7,743
Додаткові параметри дифракційної поверхні					
Дифракційний порядок	Нормувальний радіус, мм	Кількість фазових коефіцієнтів	Коеф. при ρ^2	Коеф. при ρ^4	Коеф. при ρ^6
1	7,8	3	-1,098E+03	4,099E+03	-2,781E+03

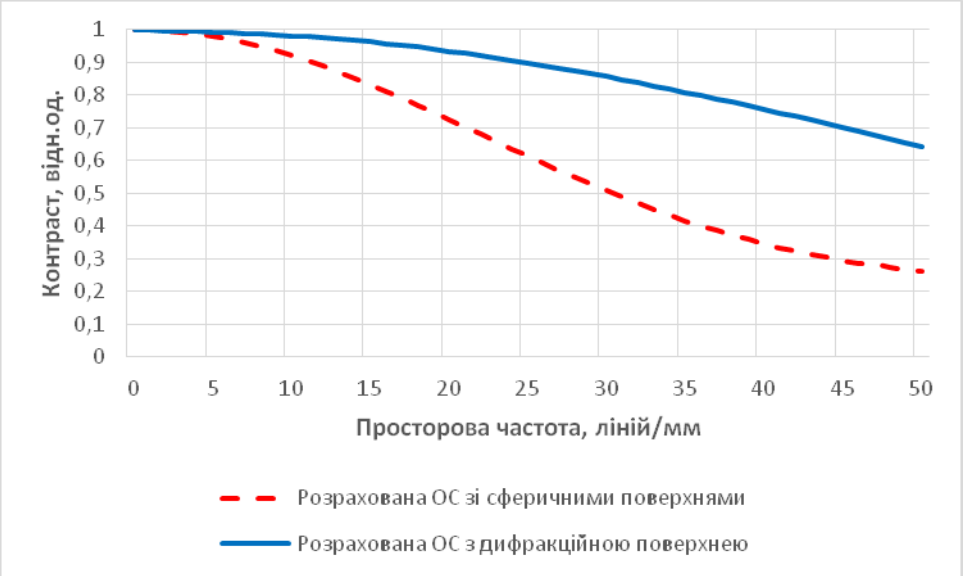
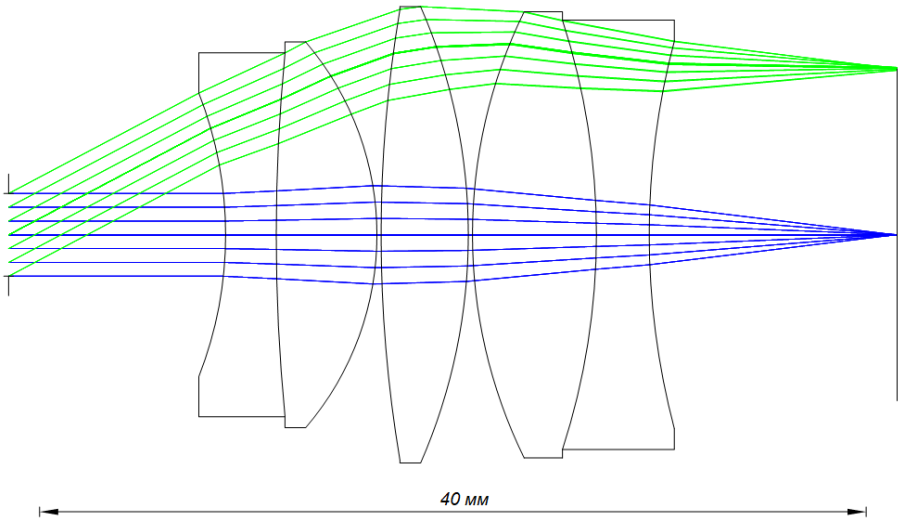
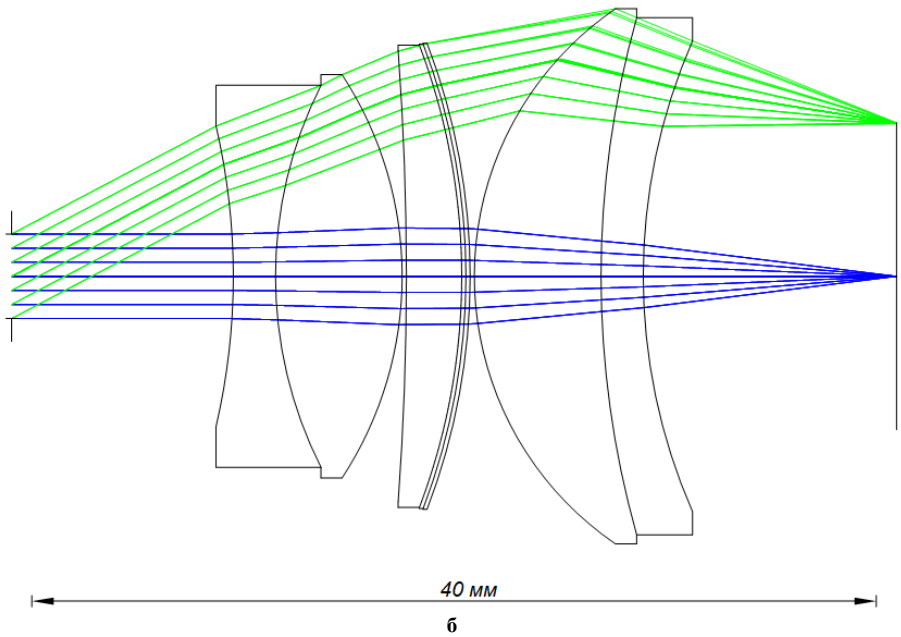


Рис. 3. Графіки розрахованих поліхроматичних МПФ окуляра для осьового пучка в дифракційному наближенні



а



б

Рис. 4. Оптичні схеми окуляра з ходом променів:
а – оптимізований варіант з виключно сферичними заломлюючими поверхнями; б – розрахований варіант з дифракційною поверхнею

Як другий приклад було вибрано окуляр (приклад Е-2) з заявки на патент США №20100254005A1

компанії NIKON Corporation [8]. Оптична система цього окуляра містить склейку негативної та позитивної лінз, позитивну третю лінзу, другу склейку, яка складається з позитивної та негативної лінз. Кожна склейка в цілому має позитивну заломлюючу силу, а багатошаровий дифракційний оптичний елемент розміщено на другій поверхні третьої позитивної лінзи.

Окуляр має передню фокусну відстань 16,6 мм, кутове поле зору 55,6°, діаметр вхідної зіниці 4 мм та розроблений для видимого спектрального діапазону (0,486…0,656 мкм) з основною довжиною хвилі 0,587 мкм.

Параметричний синтез оптичної системи окуляра проводився з такими обмеженнями: максимальна відстань від першої поверхні лінзи до зображення – 43 мм, максимальне допустиме значення дисторсії – 15%.

На рис. 4б показана оптична схема розробленого окуляра, а в табл. 2 – його конструктивні параметри. У розробленого окуляра аберації виправлені аберації для заданих довжин хвиль та є збалансованими по полю зору. Середньоквадратичний радіус світлової поліхроматичної плями на осі становить 2,7 мкм (в оптимізованому варіанті з виключно сферичними заломлюючими поверхнями – 7,9 мкм). Максимальне значення дисторсії розрахованого окуляра дорівнює 15%. Для осьового пучка та основної довжини хвилі перепад хвильового фронту не перевищує 0,26λ, а середньоквадратична похибка хвильового фронту не перевищує 0,071λ.

Таблиця 2

Конструктивні параметри розрахованого окуляра

Номер поверхні	Радіус кривизни поверхні, мм	Осьова товщина, мм	Показник заломлення n_d та коефіцієнт дисперсії v_d	Світловий діаметр, мм
Предмет	∞	∞	–	–
1 (апертурна діафрагма)	∞	10,5	–	2,0
2	-31,42	2	1,805; 25,35	7,11
3	20,02	5,99	1,664; 35,83	9,04
4	-17,41	0,2	–	9,54
5	-146,85	2,62	1,620; 60,14	10,66
6 (дифр. поверхня)	-30,78	0,2	1,528; 34,71	10,94
7	-30,78	0,2	1,557; 50,17	10,98
8	-30,78	0,2	–	11,03
9	15,33	5,99	1,692; 54,55	12,66
10	45,12	2	1,805; 25,35	12,24
11	27,7	12	–	11,13
Зображення	∞	–	–	7,26

Додаткові параметри дифракційної поверхні					
Дифракційний порядок	Нормувальний радіус, мм	Кількість фазових коефіцієнтів	Коеф. при ρ^2	Коеф. при ρ^4	Коеф. при ρ^6
1	12,5	3	-1.187E+03	1,793E+03	-2,588E+03

На рис. 5 наведено графіки МПФ двох розрахованих систем.

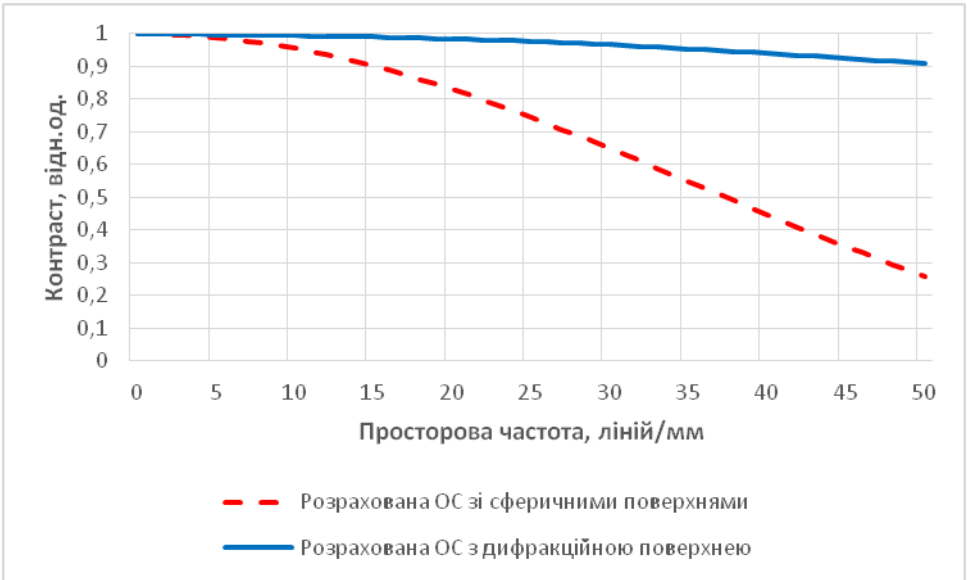


Рис. 5. Графіки розрахованих поліхроматичних МПФ окуляра для осьового пучка в дифракційному наближенні

Висновки

У даній роботі здійснено експериментальну перевірку дієздатності запропонованого автоматизованого розрахунку оптичних систем на прикладах розробки двох оптичних систем окулярів з дифракційними оптичними елементами. Проведеним чисельним моделюванням доведено, що використання дифракційних поверхонь може покращити якість зображення оптичної системи. Отримані результати свідчать, що розраховані системи за якістю зображення є практично дифракційно-обмеженими та не поступаються аналогам, запропонованим в патентній літературі. Підтверджено, що адаптивний метод диференційної еволюції Коші є потужним засобом, завдяки якому можна здійснювати параметричний синтез оптичних систем з дифракційними елементами з параметрами, що задовольнятимуть заданим технічним вимогам.

Література

1. Колобродов В. Г. Прикладна дифракційна оптика : підручник / В. Г. Колобродов, Г. С. Тимчик. – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 312 с.

2. Зорич Н.Д. Приемущества использования дифракционных оптических элементов в простых оптических изображающих системах / Н.Д. Зорич, И.Л. Лившиц, Е.А. Соколова // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2015. – Том 15. № 1. – С. 6–13.

3. Пат. заяв. 2012/0200823A1 США, G02C 7/06. Ophthalmic lens with multiple phase plates / Mark H. Bandhauer (США), Alan J. Lang (США) ; заявник і патентовласник Abbott medical optics inc. ; заявл. 16.04.2012. – 24 p.

4. Пат. 006473232B2 США, G02B 27/44. Optical system having a diffractive optical element, and optical apparatus / Hideki Ogawa (Японія) ; заявник і патентовласник Canon Kabushiki Kaisha ; заявл. 06.03.2001. – 21 p.

5. Handbook of Optical Systems: Vol. 3. Aberration Theory and Correction of Optical Systems / H. Gross, H. Zugge, M. Peschka, F. Blechinger ; Edited by Herbert Gross. – WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2007. – ISBN 978-3-527-40379-0

6. Choi Tae Jong. An adaptive Cauchy differential evolution algorithm for global numerical optimization / T. J. Choi, C. W. Ahn, J. An // The Scientific World Journal. – 2013. – Vol. 2013. – Article ID 969734, 12 pages. – DOI 10.1155/2013/969734

7. Choi Tae Jong. An adaptive Cauchy differential evolution algorithm with bias strategy adaptation mechanism for global numerical optimization / T. J. Choi, C. W. Ahn. // Journal of Computers. – 2014. – Vol. 9, No 9. – Pp. 2139-2145. – DOI 10.4304/cp.9.9.2139-2145

8. Пат. заяв. 2010/0254005A1 США, G02B 27/42. Eyepiece system and optical device / Miho Matsumoto (Японія) ; заявник і патентовласник Nikon corporation ; заявл. 17.06.2010. – 38 p.

References

1. Kolobrodov V. Gh. Prykladna dyfrakcijna optyka : pidruchnyk / V. Gh. Kolobrodov, Gh. S. Tymchyk. – K. : NTUU “KPI”, 2014. – 312 s.

2. Zorich N.D., Livshits I.L., Sokolova E.A. Priemuschestva ispolzovaniya difraktsionnyih opticheskih elementov v prostyih opticheskih izobrazhayuschih sistemah // Nauchno-tehnicheskiy vestnik informatsionnyih tehnologiy, mehaniki i optiki. 2015. Tom 15. 1. s. 6-13

3. Pat. zajav. 2012/0200823A1 SShA, G02C 7/06. Ophthalmic lens with multiple phase plates / Mark H. Bandhauer (SShA), Alan J. Lang (SShA) ; zajavnyk i patentovlasnyk Abbott medical optics inc. ; Zajavl. 16.04.2012. – 24 p.

4. Pat. 006473232B2 SShA, G02B 27/44. Optical system having a diffractive optical element, and optical apparatus / Hideki Ogawa (Japonija) ; zajavnyk i patentovlasnyk Canon Kabushiki Kaisha ; Zajavl. 06.03.2001. – 21 p.

5. Handbook of Optical Systems: Vol. 3. Aberration Theory and Correction of Optical Systems. / H. Gross, H. Zugge, M. Peschka, F. Blechinger ; Edited by Herbert Gross. – WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2007. – ISBN 978-3-527-40379-0

6. Choi Tae Jong. An adaptive Cauchy differential evolution algorithm for global numerical optimization / T. J. Choi, C. W. Ahn, J. An // The Scientific World Journal. – 2013. – Vol. 2013. – Article ID 969734, 12 pages. – DOI 10.1155/2013/969734

7. Choi Tae Jong. And adaptive Cauchy differential evolution algorithm with bias strategy adaptation mechanism for global numerical optimization / T. J. Choi, C. W. Ahn. // Journal of Computers. – 2014. – Vol. 9, No 9. – Pp.2139-2145. – DOI 10..4304/cp.9.9.2139-2145

8. Pat. zajav. 2010/0254005A1 SShA, G02B 27/42. Eyepiece system and optical device / Miho Matsumoto (Japonija) ; zajavnyk i patentovlasnyk Nikon corporation ; Zajavl. 17.06.2010. – 38 p.

Рецензія/Peer review : 12.11.2017 р. Надрукована/Printed :01.02.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Боровицький В.М.

УДК 621.311.4.031

С.М. БОЙКО, О.С. ЧЕРНІХОВА
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
Ю.М. ШМЕЛЬОВ, С.І. ВЛАДОВ
Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету
С.Я. ВИШНЕВСЬКИЙ
Вінницький національний технічний університет

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ВИСУВНОЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА БАЗІ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

Доведено, що висота польоту робить значний вплив на надійність функціонування всього комплексу електрообладнання літального апарату. Запропонована для практичної реалізації структура електротехнічної частини висувної вітроенергетичної установки на базі асинхронного генератора в умовах літальних об'єктів. Розроблено та змодельовано систему управління висувної вітроенергетичної установки на базі асинхронного генератора як первинної аварійної системи для живлення бортових комплексів літальних об'єктів. Запропоновану систему керування побудовано з використанням компонент теорії нечітких множин. На вхід нечіткого регулятора запропоновано подавати кутову швидкість обертання вітрового колеса, швидкість вітрового потоку, похідні від змінного значення швидкості вітрового потоку та оптимальне значення кутової швидкості. Вихідним управляючим сигналом є задане значення напруги, яке буде впливати на ступінь відкриття симісторів, що, у свою чергу, регулюватимуть ступінь ємності збуджуючих конденсаторів та величину баластного навантаження. З метою отримання результатів моделювання складено базу нечітких логічних рівнянь на основі експертної бази знань і термів функції належності.

Ключові слова: *первинна аварійна система живлення, висувна вітроенергетична установка, теорія нечітких множин.*

S.M. BOIKO, O.S. CHERNIKHOVA,
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
YU.M. SHMELOV, S.I. VLADOV
Kremenchuk Flight College of National Aviation University
S.YA. VYSHNEVSKY
Vinnytsia National Technical University

CONTROL SYSTEM OF THE ELECTRICAL ENGINEERING COMPLEX OF SLIDING WIND POWER INSTALLATION OF AIRCRAFTS ON THE BASE OF THEORY OF FUZZY MULTIPLES

It is proved that the flight altitude has a significant influence on the functioning reliability of the entire complex of aircraft equipment. The structure of the electro technical part of a sliding wind power installation based on the asynchronous generator in the conditions of flying objects has been proposed for a practical realization. The control system of a sliding wind power installation based on an asynchronous generator as a primary emergency system for onboard complexes` feeding of aircraft objects has been developed and simulated by the authors. The proposed control system was constructed using the components of the theory of fuzzy multiples. It is proposed to provide the angular velocity of rotation of the wind wheel, the speed of the wind flow, derivatives of the variable velocity of the wind flow and the optimal value of the angular velocity at the input of the fuzzy controller. The initial control signal is the set value of the voltage, which will affect the degree of opening of the triacs, which, in their turn, will regulate the capacity degree of the excitatory capacitors and the value of the ballast load. In order to obtain the simulation results, a database of fuzzy logic equations has been compiled on the basis of the expert knowledge base and the terms of the membership function.

Key words: primary emergency power system, sliding wind power installation, theory of fuzzy multiples.

Актуальність теми. Висота польоту робить значний вплив на роботу всього комплексу електрообладнання літального апарату (ЛА).

Зовнішні впливи, які діють на електротехнічні установки, можуть призвести до різного роду пошкоджень, наприклад, до обриву проводів і обмоток, особливо в місцях їх пайки, до появи тріщин і псування електроізоляційних матеріалів, прискореного зносу осей і підшипників у виконавчих електричних приладах, відхилень від нормальної роботи пружинних і рухомих елементів електроапаратів.

Тактико-технічні вимоги, які пред'являються до устаткування літальних апаратів, розроблені з урахуванням умов роботи електрообладнання та його призначення, включають наступні показники: надійність і безвідмовність роботи, вимоги щодо маси і габаритів, міцність електрообладнання, хімічна стійкість електрообладнання, простота експлуатації і ремонту електроустаткування, економічні вимоги.

Від генераторів живиться і вся електроніка на борту літального апарату, тому, якщо генератори перестануть працювати, то знеструмиться і вся техніка електромережі. На цей випадок у деяких типах літальних апаратів виробники встановлюють висувні вітроенергетичні установки (ВВЕУ), які виробляють струм за рахунок того, що вітроколесо крутиться під дією зустрічного потоку повітря на лопаті, що дає можливість хоча б відстежувати критично важливі технічні показники стану обладнання і системи ЛА [1].

Однією з найбільш важливих проблем, що виникають при використанні АГ з конденсаторним збудженням в автономних системах електропостачання, є стабілізація напруги при змінній частоті обертів ротора та змінному навантаженні. Частота обертання генераторів може бути регульованою за умови сталості

частоти генерованих коливань або залишатися постійною. У загальному випадку можлива робота генератора зі змінною частотою обертання і змінною частотою [2].

Мета досліджень – розробка системи керування електротехнічного комплексу висувної вітроенергетичної установки на базі асинхронного генератора, з метою підвищення надійності та якості електропостачання первинної аварійної системи електропостачання бортових комплексів літальних апаратів.

Матеріал досліджень. Важливою умовою підвищення техніко-економічних показників ВВЕУ є відповідність характеристик агрегату вітровому режиму. На даний час існує багато систем керування ВВЕУ, які зокрема дозволяють працювати ВВЕУ із нерегульованою швидкістю, забезпечуючи при цьому відбір максимальної потужності від вітроколеса, шляхом дій на момент навантаження генератора [2].

Необхідність розробки системи керування полягає головним чином у тому, щоб забезпечити споживачів стабільною напругою з постійною частотою незалежно від зміни параметрів у будь-якій ланці системи. На шляху аналізу цього питання вирішено, що лише мікропроцесорна система керування, що працює за спеціально створеним законом керування, здатна забезпечити постійні вихідні параметри ВВЕУ. Структурна схема ВВЕУ з системою керування зображена на рис. 1.

На теперішній час використовується велика кількість систем керування вітровими енергетичними установками, які забезпечують можливість роботи ВЕУ з нерегульованою швидкістю [2]. Але більшість з них потребують вдосконалення законів керування. Оскільки вхідними параметрами системи керування ВВЕУ є невизначені дані, то вона працює за некерованим графіком [3]. ВВЕУ в умовах літальних апаратів є нелінійним та нестаціонарним об'єктом керування, оскільки на неї діють динамічні повітряні навантаження з непередбачуваними змінами енергетичних параметрів [3].

Системи автоматичного керування ВВЕУ на основі нечітких регуляторів показали свою ефективність за рахунок покращення якості регулювання в стаціонарних та перехідних режимах роботи [4].

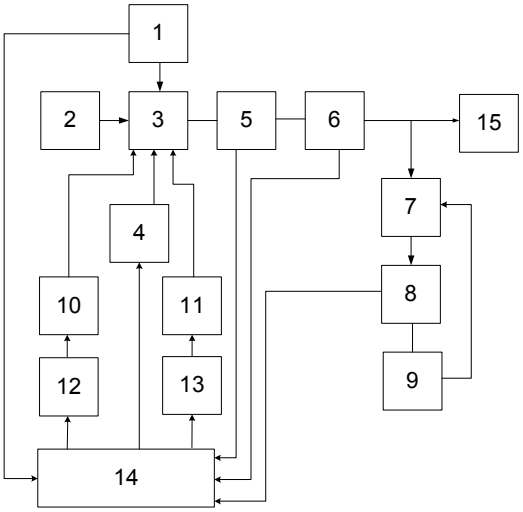


Рис. 1. Структурна схема автоматизованої системи керування асинхронним генератором у складі висувної вітроустановки: 1 – вітрове колесо; 2 – батарея збуджуючих конденсаторів; 3 – асинхронний генератор з короткозамкненим ротором; 4 – електромагнітне гальмо; 5 – датчик напруги; 6 – датчик частоти; 7 – автоматичний зарядний пристрій; 8 – акумуляторна батарея; 9 – датчик струму; 10 – батарея додаткових конденсаторів; 11 – баластне навантаження; 12, 13 – блок транзисторних ключів; 14 – мікропроцесорний блок; 15 – навантаження

Таким чином закон керування можна вдосконалити шляхом застосування елементів нечітких множин, що дозволить покращити якість регулювання вихідних параметрів згенерованої ВВЕУ електроенергії.

Сигнали з давачів передаються на регулятор, який їх аналізує та видає сигнал на блок керування ємнісним струмом чи баластним навантаженням. За рахунок цього підтримується момент навантаження, що забезпечує оптимальну швидкість обертання вітроколеса ВВЕУ. Це сприяє максимальному відбору електроенергії необхідної якості.

Структурну схему каналу регулювання системи керування можна схематично представити таким чином [5–7]. Як видно з рис. 2, на вхід нечіткого регулятора подаються наступні сигнали: кутова швидкість обертання вітрового колеса $\omega_{ВК}$, швидкість вітрового потоку $u_{в.п.}$, похідні від змінного значення швидкості вітрового потоку $du_{з.в.п.}/dt$ та оптимальне значення кутової швидкості $\omega_{опт}$. Вихідним сигналом каналу нечіткого регулятора системи керування є сигнал відпирання $U_{завд}$, після надходження якого до регулятора останній змінює значення ємнісного струму та баластного навантаження ВВЕУ за допомогою блоку керування.

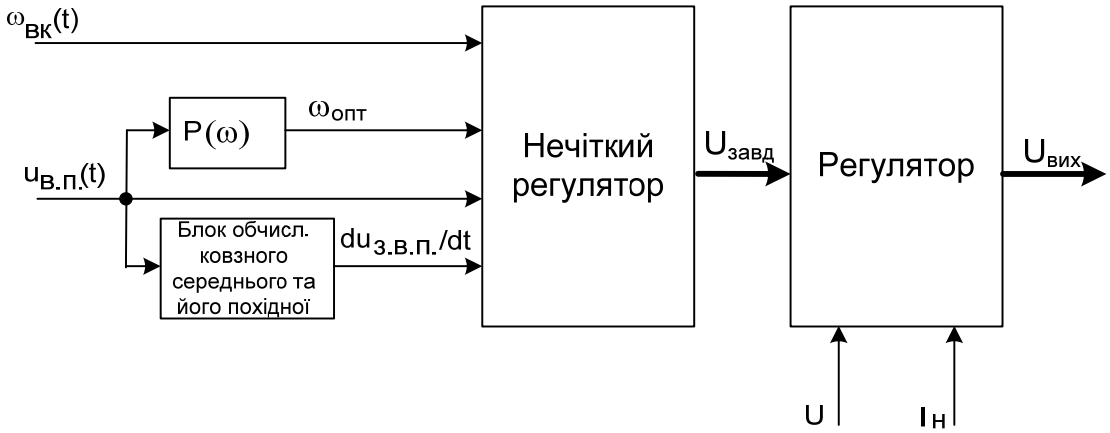


Рис. 2. Структурна схема каналу регулювання системи керування висувною вітровою енергетичною установкою

Структурна схема блоку нечіткого логічного висновку щодо значення величини заданої напруги керування представлена на рис. 3.

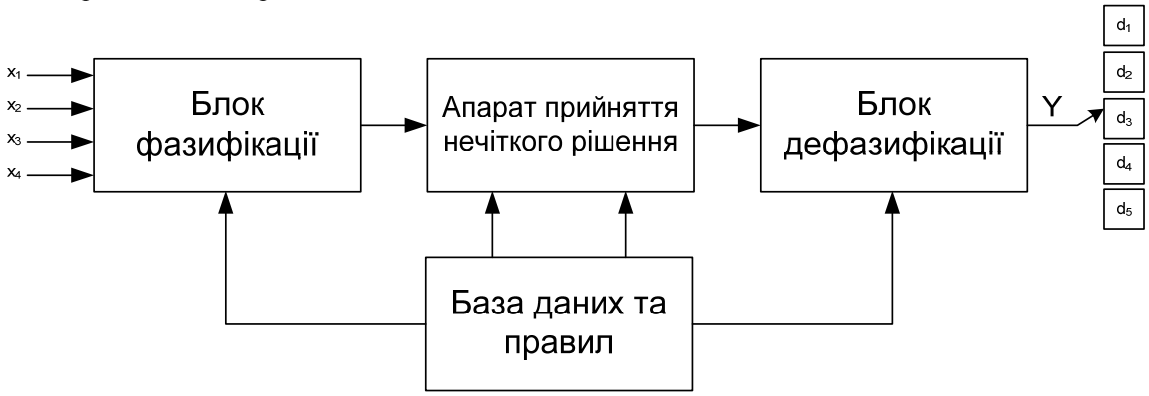


Рис. 3. Структурна схема блоку нечіткого логічного висновку системи керування ВЕУ

Таблиця 1

Параметри вхідних та вихідних величин математичної моделі нечіткого висновку щодо заданої напруги регулятора

Пара метри	Назва	Діапазон значень		Терми
X_1	Відносне значення частоти напруги генератора у частках номінальної частоти	Для БДК	Для БН	Мінімальна (Min), Дуже мала (DM), Мала (M), Невисока (NV), Нормально мала (NM); Максимальна (Max), Дуже Висока (DV), Висока (V), Вище норми (VN), Нормально висока (NV)
		0,94–0,99 $f_н$	0,99–1,02 $f_н$	
X_2	Відносне значення кутової швидкості обертання вітрового колеса у частках номінальної швидкості	Для БДК	Для БН	Мінімальна (Min), Дуже мала (DM), Мала (M), Невисока (NV), Нормально мала (NM); Максимальна (Max), Дуже Висока (DV), Висока (V), Вище норми (VN), Нормально висока (NV)
		0–0,9 $\omega_н$	1,1–2 $\omega_н$	
X_3	Відносне значення напруги генератора у частках номінальної напруги	Для БДК	Для БН	Мінімальна (Min), Дуже мала (DM), Мала(M), Невисока (NV), Нормально мала (NM); Максимальна (Max), Дуже висока (DV), Висока (V), Вище норми (VN), Нормально висока (NV)
		0,7–0,9 $U_н$	1.1–1.3 $U_н$	
X_4	Відносне значення швидкості повітряного потоку у частках номінальної швидкості	Для БДК	Для БН	Мінімальна (Min), Дуже мала (DM), Мала (M), Невисока (NV), Нормально мала (NM); Максимальна (Max), Дуже висока (DV), Висока (V), Вище норми (VN), Нормально висока (NV)
		0–0,9 $u_н$	1,1–0,9 $u_н$	
Y	Значення напруги завдання симісторних ключів у частках номінальної напруги завдання	Для БДК	Для БН	Мінімальна (Min), Дуже мала (DM), Мала (M), Невисока (NV), Нормально мала (NM); Максимальна (Max), Дуже висока (DV), Висока (V), Вище норми (VN), Нормально висока (NV)
		0,5–1 $U_{н.завд.}$	1–2 $U_{н.завд.}$	

В таблиці 1 відображено діапазони зміни вхідних та вихідних параметрів, а також проведено їх лінгвістичне оцінювання за термами.

З метою забезпечення функціонування математичної моделі нечіткого логічного висновку необхідно сформувати експертну базу знань нечітких правил, яка містить лінгвістичні правила залежності $Y = f(X)$. Її можна представити у наступному вигляді [8]:

$$(\tilde{o}_1 = \tilde{a}_{1j}\theta_j x_2 = \tilde{a}_{1j}\theta_j \ldots \theta_j x_n = \tilde{a}_{nj}) \Rightarrow Y = d_j,\ j = 1, m, \quad (1)$$

де $\tilde{a}_{ij}$ – нечіткий терм, за допомогою якого оцінюється змінна x_i в j-му правилі; Θ_j – логічна операція, яка пов'язує фрагменти j-го правила; m – кількість правил в базі.

З метою отримання результатів моделювання складемо базу нечітких логічних рівнянь на основі експертної бази знань і термів функції належності. Нечітке рівняння для виходів Y представимо у вигляді систем [8]:

$$\begin{cases}
\mu^{d1}(d) = [\mu^{Min}(X_1)\cdot\mu^{Min}(X_2)\cdot\mu^{Min}(X_3)\cdot\mu^{Min}(X_4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{Min}(X_1)\cdot\mu^{Min}(X_2)\cdot\mu^{DM}(X_3)\cdot\mu^{Min}(X_4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{Min}(X_1)\cdot\mu^{DM}(X_2)\cdot\mu^{Min}(X_3)\cdot\mu^{Min}(X_4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{DM}(X_1)\cdot\mu^{DM}(X_2)\cdot\mu^{Min}(X_3)\cdot\mu^{Min}(X_4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{Min}(X_1)\cdot\mu^{Min}(X_2)\cdot\mu^{Min}(X_3)\cdot\mu^{DM}(X_4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{Min}(X_1)\cdot\mu^{Min}(X_2)\cdot\mu^{DM}(X_3)\cdot\mu^{DM}(X_4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{Min}(X_1)\cdot\mu^{DM}(X_2)\cdot\mu^{DM}(X_3)\cdot\mu^{DM}(X_4)]; \\
\mu^{d2}(d) = [\mu^{DM}(X_1)\cdot\mu^{DM}(X_2)\cdot\mu^{DM}(X_3)\cdot\mu^{DM}(X_4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{DM}(X_1)\cdot\mu^{DM}(X_2)\cdot\mu^{DM}(X_3)\cdot\mu^{M}(X_4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{DM}(X_1)\cdot\mu^{DM}(X_2)\cdot\mu^{M}(X_3)\cdot\mu^{M}(X_4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{DM}(X_1)\cdot\mu^{M}(X_2)\cdot\mu^{M}(X_3)\cdot\mu^{M}(X_4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{M}(X_1)\cdot\mu^{DM}(X_2)\cdot\mu^{M}(X_3)\cdot\mu^{M}(X_4)]; \\
\mu^{d3}(d) = [\mu^{M}(X_1)\cdot\mu^{M}(X_2)\cdot\mu^{M}(X_3)\cdot\mu^{NV}(X_4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{M}(X_1)\cdot\mu^{M}(X_2)\cdot\mu^{NV}(X_3)\cdot\mu^{NV}(X_4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{M}(X_1)\cdot\mu^{NV}(X_2)\cdot\mu^{NV}(X_3)\cdot\mu^{NV}(X_4)]; \\
\mu^{d4}(d) = [\mu^{NV}(X_1)\cdot\mu^{NV}(X_2)\cdot\mu^{NV}(X_3)\cdot\mu^{NV}(X_4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{M}(X_1)\cdot\mu^{M}(X_2)\cdot\mu^{M}(X_3)\cdot\mu^{NV}(X_4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{M}(X_1)\cdot\mu^{M}(X_2)\cdot\mu^{NV}(X_3)\cdot\mu^{NV}(X_4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{M}(X_1)\cdot\mu^{NV}(X_2)\cdot\mu^{NV}(X_3)\cdot\mu^{NV}(X_4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{NV}(X_1)\cdot\mu^{NV}(X_2)\cdot\mu^{NV}(X_3)\cdot\mu^{NM}(X_4); \\
\mu^{d5}(d) = [\mu^{NV}(X_1)\cdot\mu^{NV}(X_2)\cdot\mu^{NM}(X_3)\cdot\mu^{NM}(X_4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{NV}(X_1)\cdot\mu^{NM}(X_2)\cdot\mu^{NM}(X_3)\cdot\mu^{NM}(X_4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{NM}(X_1)\cdot\mu^{NM}(X_2)\cdot\mu^{NM}(X_3)\cdot\mu^{NM}(X_4)].
\end{cases}$$

$$\begin{cases}
\mu^{d1}(d) = [\mu^{Max}(X1)\cdot\mu^{Max}(X2)\cdot\mu^{Max}(X3)\cdot\mu^{Max}(X4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{Max}(X1)\cdot\mu^{Max}(X2)\cdot\mu^{DV}(X3)\cdot\mu^{Max}(X4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{Max}(X1)\cdot\mu^{DV}(X2)\cdot\mu^{Max}(X3)\cdot\mu^{Max}(X4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{DV}(X1)\cdot\mu^{DV}(X2)\cdot\mu^{Max}(X3)\cdot\mu^{Max}(X4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{Max}(X1)\cdot\mu^{Max}(X2)\cdot\mu^{Max}(X3)\cdot\mu^{DV}(X4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{Max}(X1)\cdot\mu^{Max}(X2)\cdot\mu^{DV}(X3)\cdot\mu^{DV}(X4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{Max}(X1)\cdot\mu^{DV}(X2)\cdot\mu^{DV}(X3)\cdot\mu^{DV}(X4)]; \\
\mu^{d2}(d) = [\mu^{DV}(X1)\cdot\mu^{DV}(X2)\cdot\mu^{DV}(X3)\cdot\mu^{DV}(X4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{DV}(X1)\cdot\mu^{DV}(X2)\cdot\mu^{DV}(X3)\cdot\mu^{V}(X4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{DV}(X1)\cdot\mu^{DV}(X2)\cdot\mu^{V}(X3)\cdot\mu^{V}(X4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{DV}(X1)\cdot\mu^{M}(X2)\cdot\mu^{M}(X3)\cdot\mu^{M}(X4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{V}(X1)\cdot\mu^{DV}(X2)\cdot\mu^{V}(X3)\cdot\mu^{V}(X4)] \\
\mu^{d3}(d) = [\mu^{V}(X1)\cdot\mu^{V}(X2)\cdot\mu^{V}(X3)\cdot\mu^{VN}(X4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{V}(X1)\cdot\mu^{V}(X2)\cdot\mu^{VN}(X3)\cdot\mu^{VN}(X4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{V}(X1)\cdot\mu^{VN}(X2)\cdot\mu^{VN}(X3)\cdot\mu^{VN}(X4)]; \\
\mu^{d4}(d) = [\mu^{VN}(X1)\cdot\mu^{VN}(X2)\cdot\mu^{VN}(X3)\cdot\mu^{VN}(X4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{V}(X1)\cdot\mu^{V}(X2)\cdot\mu^{V}(X3)\cdot\mu^{VN}(X4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{V}(X1)\cdot\mu^{V}(X2)\cdot\mu^{VN}(X3)\cdot\mu^{VN}(X4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{V}(X1)\cdot\mu^{VN}(X2)\cdot\mu^{VN}(X3)\cdot\mu^{VN}(X4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{VN}(X1)\cdot\mu^{VN}(X2)\cdot\mu^{VN}(X3)\cdot\mu^{NV}(X4); \\
\mu^{d5}(d) = [\mu^{VN}(X1)\cdot\mu^{VN}(X2)\cdot\mu^{VN}(X3)\cdot\mu^{NV}(X4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{VN}(X1)\cdot\mu^{NV}(X2)\cdot\mu^{NV}(X3)\cdot\mu^{NV}(X4)]\vee \\
\vee\ [\mu^{NV}(X1)\cdot\mu^{NV}(X2)\cdot\mu^{NV}(X3)\cdot\mu^{NV}(X4)].
\end{cases}$$

На вхід нечіткого регулятора швидкості пропонується подавати такі сигнали – кутову швидкість обертання вітрового колеса $\omega_к$, швидкість вітрового потоку $V_в$, похідну від ковзного значення швидкості вітру $dV_в^к/dt$, яка обчислюється блоком обчислення ковзного середнього та його похідної, оптимальне значення кутової швидкості $\omega_{опт}$, за якого від вітроколеса відбирається максимум потужності, причому $\omega_{опт}$ обчислюється блоком залежності $P(\omega)$. Вихідним сигналом нечіткого регулятора є сигнал завдання за напругою $U_{зад}$, який буде вхідним сигналом для блоків симісторів, через які підключено батарею конденсаторів та баластне навантаження. Задане значення напруги буде впливати на ступінь відкриття симісторів, що, у свою чергу, регулюватиме ємність збуджуючих конденсаторів та величину баластного навантаження [9].

Моделювання запропонованої моделі, яка побудована з використанням компонент теорії нечітких множин, здійснено в середовищі Matlab 5 [9]. Результати моделювання представлені на рис. 4.

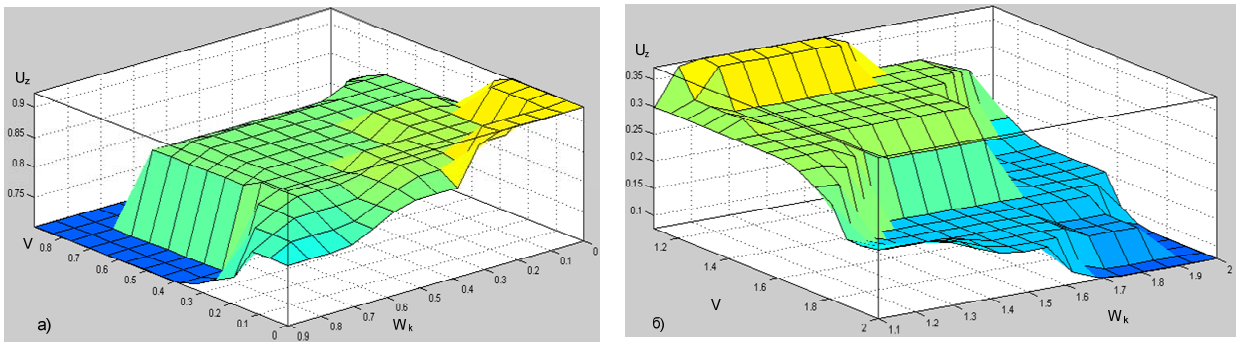


Рис. 4. Залежність напруги завдання: а) для БДК від вихідної частоти та напруги генератора, швидкості повітряного потоку та обертання ВК; б) для БН від вихідної частоти та напруги генератора, швидкості повітряного потоку та обертання ВК

Такий варіант програмування дозволяє системі керування реагувати на будь-які зміни в ланках ВВЕУ і відповідно до цих змін регулювати вихідні параметри асинхронного генератора.

Висновки. 1. Під час проектування системи управління вихідними параметрами генератора висувної вітроенергетичної установки, що входить до складу первинної аварійної системи елеткропостачання деяких літальних апаратів, повинно бути забезпечене плавне регулювання напруги, враховуючи стохастичні зміни повітряного потоку та навантаження, що може бути реалізовано з використанням теорії нечітких множин.

2. Запропонований спосіб управління вихідною напругою асинхронного генератора з короткозамкнутим ротором в складі висувної вітроустановки, що входить до складу первинної аварійної системи електропостачання деяких літальних апаратів, дозволяє забезпечити якісне аварійне електропостачання їх бортових комплексів.

Література

1. Яковлев А. И. Энергетические характеристики ветротурбин различного типа / А. И. Яковлев, М. А. Затучная, О. О. Тыхевич // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2000. – № 21. – С. 88–91.

2. Коптев А. Н. Авиационное и радиоэлектронное оборудование воздушных судов гражданской авиации [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / А. Н. Коптев ; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. (164 Мбайт). – Самара, 2011.

3. Денисюк С. П. Забезпечення надійності функціонування та стійкої роботи інтелектуальних енергетичних систем / С. П. Денисюк, П. Й. Тарасевич, О. В. Сподинський, Д. Г. Дерев'янко // Праці Інституту електродинаміки НАН України : збірник наукових праць. – К., 2010. – № 27. – С. 27–33. – ISSN 1727–9895.

4. Вишневский Л. В. Системы управления асинхронными генераторными комплексами / Л. В. Вишневский, А. Е. Пасс. – Одесса : Лыбидь, 1990. – 168 с. – ISBN 5–11–000177–4.

5. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. – М. : Физматлит, 2001. – 224 с.

6. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами Matlab / С.Д. Штовба. – М. : Горячая линия– Телеком, 2007. – 288 с. – ISBN 5-93517-359-X.

7. Патент України № 84633, МПК H02P9/00. Система керування асинхронним генератором у складі вітроелектротехнічного комплексу / О.Н. Сінчук, Д.А. Михайличенко, С.М. Бойко, М.А. Щербак. – заявка № u201305538 від 29.04.2013, опубл. 25.10.2013. Бюл. № 20.

8. Синчук О.Н. Применение нечёткой логики для согласования режимов работы ветроэнергетической установки со скоростью потока ветра в условиях рудных шахт / О.Н. Синчук, С.Н. Бойко // «Научная дискуссия: вопросы технических наук» : материалы III международной заочной научно-практ. конф. (10 октября 2012 г.) – М. : «Международный центр науки и образования», 2012. – С. 32–37.

9. Сенько В.І. Математична модель системи керування електротехнічним комплексом вітроенергетичної установки на базі fuzzy контролера / В.І. Сенько, С.М. Бойко, М.А. Щербак, А.О. Жуков // Електротехнічні і енергозберігаючі системи. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика». – Кременчук : КрНУ, 2013. – Вип. 3. – С. 103–111.

References

1. Yakovlev A. I. Energeticheskie harakteristiki vetroturbin razlichnogo tipa / A. I. Yakovlev, M. A. Zatuchnaya, O. O. Tyhevich // Aviacijno-kosmichna tekhnika i tekhnologiya. – 2000. – № 21. – S. 88–91.

2. Koptev A. N. Aviacionnoe i radioehlektronnoe oborudovanie vozdushnyh sudov grazhdanskoj aviacii [Elektronnyj resurs] : ehlektron. ucheb. posobie / A. N. Koptev ; Minobrnauki Rossii, Samar. gos. aehrokosm. un-t im. S. P. Koroleva (nac. issled. un-t). – Elektron. tekstovye i graf. dan. (164 Mbajt). – Samara, 2011.

3. Denysiuk S. P. Zabezpechennia nadiinosti funktsionuvannia ta stiikoi roboty intelektualnykh enerhetychnykh system / S. P. Denysiuk, P. Y. Tarasevych, O. V. Spodynskyi, D. H. Derevianko // Pratsi Instytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy : zbirnyk naukovykh prats. – K., 2010. – 27. – S. 27–33. – ISSN 1727–9895.

4. Vishnevskij L. V. Sistemy upravleniya asinhronnymi generatornymi kompleksami / L. V. Vishnevskij, A. E. Pass. – Odessa : Lybid', 1990. – 168 s. – ISBN 5–11–000177–4.

5. Kruglov V.V. Nechetkaya logika i iskusstvennye nejronnye seti / V.V. Kruglov, M.I. Dli, R.Yu. Golunov. – M. : Fizmatlit, 2001. – 224 s.

6. Shtovba S.D. Proektirovanie nechetkih sistem sredstvami Matlab / S.D. Shtovba. – M. : Goryachaya liniya– Telekom, 2007. – 288 s. – ISBN 5-93517-359-X.

7. Patent Ukrainy № 84633, MPK H02P9/00. Systema keruvannia asynkhronnym heneratorom u skladi vitroelektrotekhnichnoho kompleksu / O.N. Sinchuk, D.A. Mykhailychenko, S.M. Boiko, M.A. Shcherbak. – zaiavka № u201305538 vid 29.04.2013, opubl. 25.10.2013. Biul. № 20.

8. Sinchuk O.N. Primenenie nechyotkoj logiki dlya soglasovaniya rezhimov raboty vetroenergeticheskoj ustanovki so skorost'yu potoka vetra v usloviyah rudnyh shaht / O.N. Sinchuk, S.N. Bojko // «Nauchnaya diskussiya: voprosy tekhnicheskih nauk» : materialy III mezhdunarodnoj zaochnoj nauchno-prakt. konf. (10 oktyabrya 2012 g.) – M. : «Mezhdunarodnyj centr nauki i obrazovaniya», 2012. – S. 32–37.

9. Sen'ko V.I. Matematichna model' sistemy keruvannya elektrotekhnichnim kompleksom vitroenergetichnoi ustanovky na bazi fuzzy kontrolera / V.I. Sen'ko, S.M. Bojko, M.A. Shcherbak, A.O. Zhukov // Elektrotekhnichni i energozberihaiuchi sistemy. Tematychnyi vypusk «Problemi avtomatyzovanogo elektropryvoda. Teoriya i praktyka». – Kremenchuk : KrNU, 2013. – Vyp. 3. – S. 103–111.

Рецензія/Peer review : 24.11.2017 р. Надрукована/Printed :19.01.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. О.М. Сінчук

UDC 656.031+656.035

V. V. ROMANUKE
Polish Naval Academy, Gdynia, Poland

FLEXIBILIZATION IN TARIFFING FOR PASSAGES BY POLISH PUBLIC TRANSPORT VIA PREPAID SERVICES AND GPS NAVIGATION WITH CONTROLLERS OF TIME AND DISTANCE

A conception of tariffing passages flexibly by simultaneously facilitating easier controls of paying fares is suggested. Formulae of charging fares, which regard the factual passage by its elapsed time and passed distance, are stated. A scheme of executing fare payments and their control with using GPS navigators and controllers of time and distance is given.

Keywords: tariffing passages, charging fares, paying fares, prepaid services.

В.В. РОМАНЮК
Військово-морська Академія Польщі, Гдиня, Польща

ГНУЧКА ТАРИФІКАЦІЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПОЛЬСКИМ ГРОМАДСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ НА ОСНОВІ ПОПЕРЕДНЬО ОПЛАЧЕНИХ ПОСЛУГ І GPS-НАВІГАЦІЇ З КОНТРОЛЕРАМИ ЧАСУ ТА ВІДСТАНІ

Представляється концепція гнучкої тарифікації пасажирських перевезень за одночасного сприяння полегшеному контролюванню сплати за проїзд. Викладено формули для нарахування сплат, котрі відносяться до фактичного перевезення за відповідним часом, що сплинув, і пройденою відстанню. Подається схема виконання сплат за проїзд та їх контроль з використанням GPS-навігаторів і контролерів часу і відстані.

Ключові слова: тарифікація перевезень, нарахування сплат, виконання сплат, попередньо оплачені послуги.

Introduction

Public transport is an essential part of a modern city/town infrastructure. The larger city's area, the higher importance of transport emerges. Its complexity increases as well by a roughly exponential law [1, 2].

A public transport system is generally of seven components (see their interrelationship in Figure 1):

1) a transport park (autobuses, trolleybuses, tramways, etc.);
2) a driving staff (operators on tramways and subways);
3) a management system (including software for office and supporting departments);
4) software and hardware on transport units and at principal stops/stations;
5) a system of tariffs;
6) a personnel of fare payment controllers;
7) a communication network (roads for autobuses and trolleybuses, railways for tramways and subways).

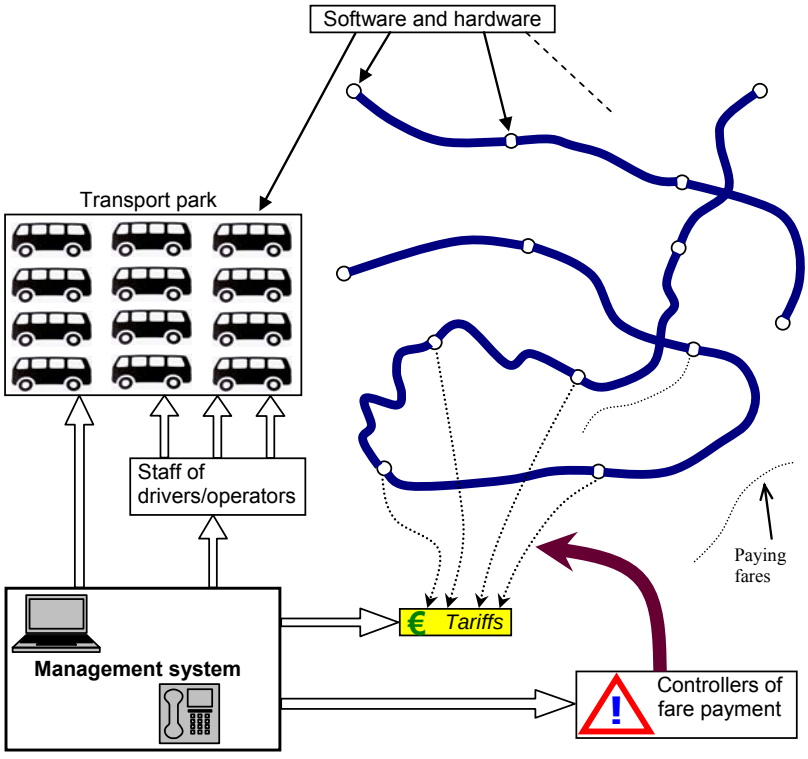


Figure 1. Main components of a public transport system and their simplified interrelationship

Despite a common opinion about that the single purpose of public transport system is „to transport people", public transport is conceived for fulfilling a few tasks [1, 3, 4]:

1) accomplishing passages (the primary task followed by those ones below to make that accomplishment as best as possible);

2) safe passages (security is not implied here as it is not an obligation of a transport company, although this is a communication type and one of basic principles of, for instance, telecommunication/data-transfer is security; an exception is broadcast and telecast);

3) passages should be fast (which is in some opposition to safety);

4) physical comfort (comfortable seats, handrails and handholds, seats for passengers with disabilities, for little children and aged people);

5) psychological comfort (appropriate stops, non-overcrowded compartments, intelligible fares, punctual timing and information about schedule).

While public transport system is not complicated (for small towns), nowadays it is not a problem to keep developing further each of those components. Because of transport system complications, big cities have major tasks on the components, especially on that concerns software, transport hardware, and, curiously enough, tariffs. The last just seems so unconcerned or „additional", not influencing much on the whole public transport system. As a matter of fact, the system of tariffs has its own dramatic impact on the public transport development, although it is revealed subsequently, as an aftermath [5, 6].

Basic demerits of tariffing (obviously, relating not only to Poland or to European Union) are the following:

1) some tariffs have considerable gaps in fares (for instance, 3.20 zł on common line and 4.20 zł on fast line in Gdynia, although difference in speeds is not apparent, and stops are mostly the same), which may be perceived as a kind of demotivation;

2) it is very difficult for a passenger, for whom the public transport is a something new (say, who has never been to Poland before or never used such a communication network previously), to remember all the aspects of buying/paying fares, differences between interval-valid passages (for example, 24-hour and 72-hour fares), validity of passages over different fare routes (like in transport communication among Gdansk, Sopot, Gdynia), etc., that may lead the passenger to getting fined (that is unfair because the passenger's delinquent action/behavior is not intentional);

3) a great diversity of tariffs may confuse fare payment controllers themselves (rarely, though);

4) if drivers on a route are allowed to sell tickets, a great diversity of tariffs may confuse also them, that is far more dangerous [7, 8] because it is an additional distraction (obviously, while the vehicle is moving; but even if tickets are sold during the stopping, those few minutes are to be compensated by a higher speed to the next stop — remember the public transport task #5).

Apparently, those demerits are removable if fares become not so rough along with that a greater diversity of tariffs becomes easier to familiarize oneself with it. This is possible by introducing a system of payments resembling prepaid services in mobile/cellular communication, which is believed to make tariffs more flexible [5, 6, 9, 10]. Such fare flexibility, except a few obvious benefits, will allow passengers to feel independent of not knowing specific rules of a public transport system.

Goal and tasks to be fulfilled

Goal of the article. Issued from lacks of perfection in public transport system tariffication, the goal of the present article is to suggest a conception of tariffing passages flexibly by simultaneously facilitating easier controls of paying fares. By that, the personnel of fare payment controllers remains the same, but its tasks in controlling fare payments shall be easier. This is going to be settled via prepaid services and GPS navigation with controllers of the elapsed time and passed distance.

Tasks to be fulfilled for achieving the article's goal. For achieving the article's goal, the following three tasks are to be fulfilled:

1) to state formulae of charging fares, which could regard the factual passage by its elapsed time and passed distance;

2) to suggest a scheme of executing fare payments and their control;

3) to make a conclusion on an outlook for implementation of the suggested scheme and its components.

A method of charging flexible fares

Variables in calculating tariffs. First of all, we should list factors that directly influence on charging fares. Mathematically, these factors can be interpreted as variables.

Consider two neighboring stops (Figure 2) belonging to a route, where a passenger is, for disambiguation, to move from the stop $\#(k-1)$ to stop $\#k$. The shortest distance between these stops is a virtual/utopian line length $d_{\text{virt}}^{\langle k\rangle}$ (the superscript implies that the passenger is moving to this indexed stop). An average speed of the transporting vehicle at the route is known, so a virtual time interval taken for passing from the stop $\#(k-1)$ to stop $\#k$ is known as well. Denote it by $t_{\text{virt}}^{\langle k\rangle}$. Surely, virtual magnitudes $d_{\text{virt}}^{\langle k\rangle}$ and $t_{\text{virt}}^{\langle k\rangle}$ cannot be straightforwardly used for calculating tariffs because they correspond to an ideal case that is practically rarely possible (the road cannot be a straight line, and traffic jam happens). Therefore, denote a factual distance between the two stops by $d_{\text{fact}}^{\langle k\rangle}$. A factual time interval

taken for passing this distance is $t_{\text{fact}}^{\langle k\rangle}$. Whichever the stops, route, or vehicle are, inequalities $d_{\text{fact}}^{\langle k\rangle} > d_{\text{virt}}^{\langle k\rangle}$ and $t_{\text{fare}}^{\langle k\rangle} > t_{\text{virt}}^{\langle k\rangle}$ are certainly always true.

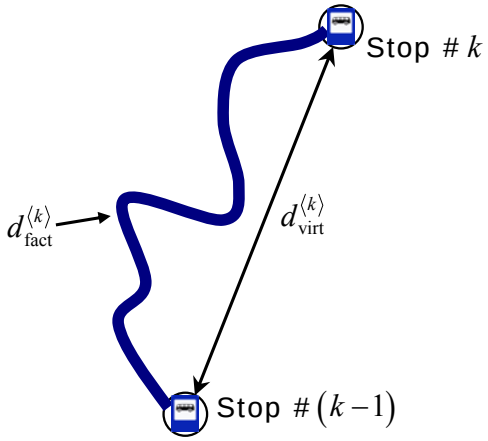


Figure 2. Virtual and factual distances between two stops of a route

There are a lot of other factors on charging fares, which are more implicit or latent [11]. Apart from reduced fares, they are vehicle type and route mode (normal one or night route, circular or prolate route). These ones are regarded as a definite tariff initial rate.

Calculation of tariffs. Formally, a fare payment for moving from the stop $\#(k-1)$ to stop $\#k$ by a definite tariff is

$$p_{\text{fare}}^{\langle k\rangle} = \alpha_{\text{tariff}} \cdot \psi_{\text{tariff}}\left(d_{\text{fact}}^{\langle k\rangle}, d_{\text{virt}}^{\langle k\rangle}, t_{\text{fact}}^{\langle k\rangle}\right) \tag{1}$$

by a given function ψ_{tariff} and fare reduction coefficient $\alpha_{\text{tariff}} \in (0;1]$, where virtual time interval $t_{\text{virt}}^{\langle k\rangle}$ should not influence. It is useful to calculate a distance that would be an average of $d_{\text{fact}}^{\langle k\rangle}$ and $d_{\text{virt}}^{\langle k\rangle}$. This is a distance-to-pay magnitude. What should it regard? Clearly, if $d_{\text{fact}}^{\langle k\rangle}$ is longer than a half of a circle then it is unreasonable to count that „as is" (reasonability holds for a transport company, but not for passengers). In order to deserve trust of passengers, distance-to-pay is

$$d_{\text{2pay}}^{\langle k\rangle} = \frac{d_{\text{fact}}^{\langle k\rangle} + d_{\text{virt}}^{\langle k\rangle}}{2} \quad \text{for} \quad d_{\text{fact}}^{\langle k\rangle} \leqslant \frac{\pi d_{\text{virt}}^{\langle k\rangle}}{2} \tag{2}$$

and

$$d_{\text{2pay}}^{\langle k\rangle} = \frac{\pi+2}{4} d_{\text{virt}}^{\langle k\rangle} \quad \text{for} \quad d_{\text{fact}}^{\langle k\rangle} > \frac{\pi d_{\text{virt}}^{\langle k\rangle}}{2}. \tag{3}$$

However, an exception exists if there is an impassable obstacle on a virtual way between two stops (Figure 3), where it is reasonable to count a distance-to-pay as

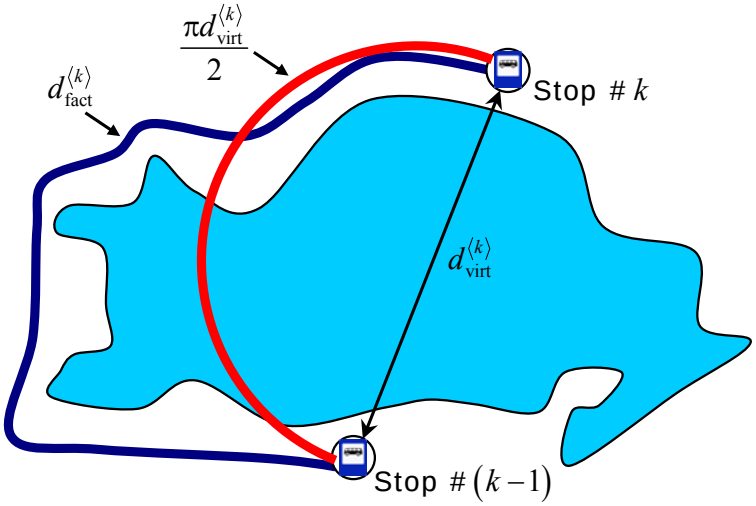


Figure 3. A case when calculation of the distance-to-pay by formula (3) is unfair due to an impassable obstacle on a virtual way between two stops (a river without a bridge, mountain without a tunnel, yard, vehicle fleet, residential area, police station, military facilities, etc.)

$$d_{\text{2pay}}^{\langle k\rangle} = \frac{d_{\text{fact}}^{\langle k\rangle} + d_{\text{virt}}^{\langle k\rangle}}{2} \tag{4}$$

regardless a ratio between $d_{\text{fact}}^{\langle k\rangle}$ and $d_{\text{virt}}^{\langle k\rangle}$. Then, instead of (1), the single stop fare payment could be stated as

$$p_{\text{fare}}^{\langle k\rangle} = \alpha_{\text{tariff}} \cdot \psi_{\text{tariff}}\left(d_{\text{2pay}}^{\langle k\rangle}, t_{\text{fact}}^{\langle k\rangle}\right). \tag{5}$$

Note that the function ψ_{tariff} in (5) does not contain any products of $d_{\text{2pay}}^{\langle k\rangle}$ and $t_{\text{fact}}^{\langle k\rangle}$. It may be, however, nonlinear with respect to those variables, i. e. terms like $\left(d_{\text{2pay}}^{\langle k\rangle}\right)^2$ and $\left(t_{\text{fact}}^{\langle k\rangle}\right)^2$ are admissible in constructing such a function. For getting rid of units of measurement, we normalize those variables: use $d_{\text{2pay}}^{\langle k\rangle} \big/ d_{\text{2pay}}^{\langle \max\rangle}$ and $t_{\text{fact}}^{\langle k\rangle} \big/ t_{\text{fact}}^{\langle \max\rangle}$ instead of $d_{\text{2pay}}^{\langle k\rangle}$ and $t_{\text{fact}}^{\langle k\rangle}$, respectively, where $d_{\text{2pay}}^{\langle \max\rangle}$ and $t_{\text{fact}}^{\langle \max\rangle}$ are maximal magnitudes on the given route (otherwise, they may be the total length of one direction and the total time taken for this length). Finally, the single stop fare payment is stated as

$$p_{\text{fare}}^{\langle k\rangle} = \alpha_{\text{tariff}} \cdot \psi_{\text{tariff}}\left(d_{\text{2pay}}^{\langle k\rangle} \big/ d_{\text{2pay}}^{\langle \max\rangle}, t_{\text{fact}}^{\langle k\rangle} \big/ t_{\text{fact}}^{\langle \max\rangle}\right). \tag{6}$$

If a passenger is transported for K stops, $K \in \mathbb{N}$, then the fare payment is

$$p_{\text{fare}}^{\langle k_1, k_2\rangle} = \sum_{k=k_1+1}^{k_2} p_{\text{fare}}^{\langle k\rangle} \quad \text{by} \quad k_2 - k_1 = K. \tag{7}$$

It is crucial to indicate integers k_1 and k_2 as the payment differs from stop to stop.

A scheme of executing flexible fare payments and their control

Required equipment, devices, and software. For executing flexible fare payments (7) by (6), as well as counting them, GPS navigators and special WiFi-like hotspots (fare-spots) must be mounted on the transporting vehicles. GPS navigator with software on an additional microprocessor controller will allow registering the elapsed time $t_{\text{fact}}^{\langle k\rangle}$ and passed distance $d_{\text{fact}}^{\langle k\rangle}$. The virtual line length $d_{\text{virt}}^{\langle k\rangle}$ is in memory of the microprocessor controller.

There are two ways for passengers: to use either smartphones with the corresponding standardized application (for this public transport system) or just smart cards similar to bank cards. In the case of cards (let them be called fare-cards), the vehicle must have a few card readers (apart from ticket-stamping machines).

Software at the vehicle, controlling the elapsed time and passed distance, will process also data of those passengers using smartphones. The standardized application on the smartphone is provided for connection with fare-spots and the passenger's control of one's account (balance, available tariffs and the current tariff, fares, costs, used routes, statistics of stops, speed, the passed distances and the spent time).

Passenger's account. Once the passenger has decided to use or try the prepaid service, one should register an account on the corresponding website of the public transport system. The passenger can manage one's account as follows:

1) to replenish amounts of pre-payments;

2) to select available tariffs;

3) to prohibit undesirable tariffs (for instance, to prohibit fast lines along with tuning notification signals on the smartphone application, which subsequently gives a list of available tariffs and will warn if the passenger tries to get on a vehicle of the fast line);

4) to select available routes;

5) to prohibit undesirable routes (for instance, to prohibit a route along with tuning notification signals on the smartphone application, which subsequently gives a list of available routes and will warn if the passenger tries to get on a vehicle at one of the prohibited routes);

6) to make loans (which are very convenient in casual situations, e. g. for night tariffs, although they may appear non-prepaid);

7) to set up amounts of loans (per month, per year, per some period of time);

8) to see statistics of one's passages (covered distance, time intervals of passages and their histogram, time spent on passages, favorite routes);

9) to make a rough quasi-optimization of costs by selecting more appropriate tariffs based on the statistics.

Reading and writing on passenger's account. The passenger can use the prepaid service with either buying a fare-card or installing the prepaid service standardized application on one's smartphone. When the passenger using a fare-card gets on the vehicle, the fare-card is put against a card reader (the time of putting is written on it) and a standard amount of fare payment is read off. This amount is equal to a maximal fare payment $p_{\text{fare}}^{\langle \max\rangle}$ by the given tariff (say, it is 3.20 zł on common line in Gdynia). When the passenger has ridden for K stops (from the stop $\#k_1$ to the stop $\#k_2$) and walks out of the vehicle, the fare-card is put against a card reader once again and an amount

$$a_{\text{fare}}^{\langle +\rangle} = p_{\text{fare}}^{\langle \max\rangle} - p_{\text{fare}}^{\langle k_1, k_2\rangle} \tag{8}$$

is written back on the fare-card. If this is not done (e. g., the passenger, walking out of the vehicle, just forgot to do

that), the passage of K stops remains paid as a maximal fare $p_{\text{fare}}^{\langle \max \rangle}$ rather than payment (7). Such situation is excluded for the smartphone that pays „itself" the correct payment (7) via a fare-spot (Figure 4).

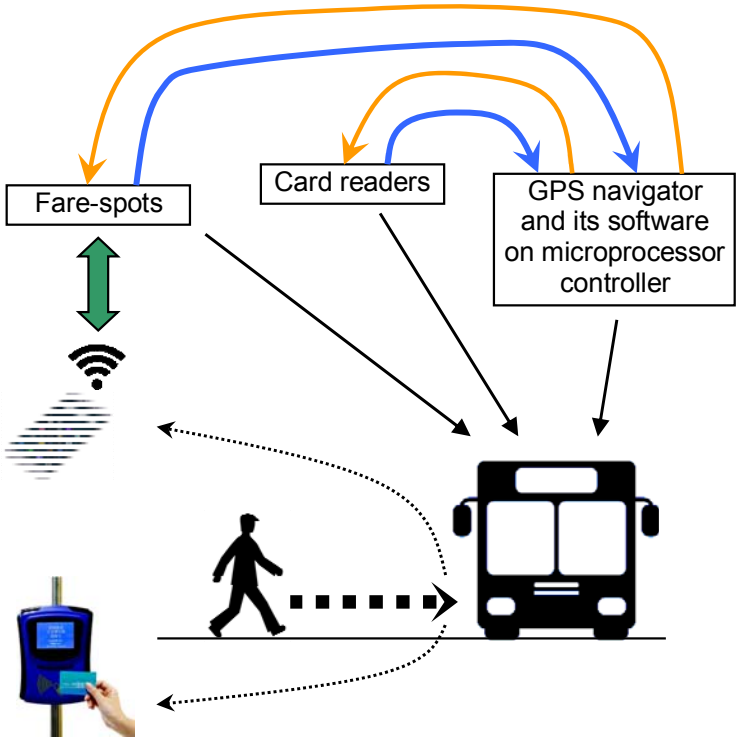


Figure 4. A scheme of executing flexible fare payments in two ways

For appropriately reading and writing on passenger's account, the fare-spot signal range should be of a few meters. As the vehicle takes off a current stop (that is spotted with the vehicle's GPS navigator), counters for the factual distance and time interval taken for passing this distance are started. While riding, the counters are currently seen in the application on the smartphone, as well as the current total amount of fare payment (similar to taxiing). When the passenger walks out of the vehicle, the fare-spot signal drops to a definite level showing that the passenger is outside the vehicle. Then, right after that moment, the passage and its fare is complete.

Work of fare payment controllers. Note that if the smartphone is turned off deliberately (to stop counters for getting a lower fare payment) and then, ahead of the final stop (walking-out), is turned on again, controllers of the elapsed time and passed distance will display an error. Eventually, GPS navigator will re-calculate the payment based on the factual distance and the internal time clock of the microprocessor controller. Therefore, such an occasion shall not be considered as a violation or passenger's delinquent action/behavior. A fine is only possible when controllers of fare payment detect that the smartphone has been turned off deliberately and currently it is still off. Personnel of fare payment controllers will have a special application on a smartphone or tablet showing current activity of all smartphones using the fare-spots on the given vehicle. So, they are not obliged to address to each passenger personally. In a way, such controlling of the smartphoned fare-spots can be accomplished by a special software. This software will inform about fare-spot violations. Driver or operator may be obliged to pay attention of those passengers who missed the fare-spots (turned their smartphones off) to that fact.

Fare-card is checked by those controllers whether it has been put against a card reader (the time of putting the fare-card is important, because, when the card is still not put against the card reader, the passenger might just have got on the vehicle and is only going to apply one's fare-card, so this is not a violation). Current number of the applied fare-cards is seen for the driver/operator also. However, it is not seen how many fare-cards are still non-applied.

Reasons for paper tickets. Paper tickets shall not vanish. A smartphone can have an accumulator discharge, or its operating system may have no support for the prepaid service standardized application, or a fare-card is lost. Thus, the third possibility to take a ride must exist. This is to buy a paper ticket (single ride, 24-hour, 72-hour fares, a month fare, etc.), wherever it is on sale. Besides, the prepaid service with using either smartphones or fare-cards may be unacceptable or incomprehensible for some aged people.

Conclusion

The suggested flexibilization in tariffing for passages is a step into further automation of public transport systems. Flexible or smooth fares are believed to motivate passengers for actively using one-stop passages (or passages for a few stops, not long distances) and to gain their trust. The work of fare payment controllers will be much simplified.

Of course, some demerits of the tariff flexibilization exist:

1) mounting fare-spots, card readers, and GPS navigators with microprocessor controllers requires considerable time and financial resources;

2) developing software for GPS navigators, management system (including main website of the public transport system), application for the smartphone, firewalls for protecting passengers' accounts also requires considerable time and financial resources;

3) before getting started with flexible tariffs on smartphones and fare-cards, testing the new system takes considerable time and human resources;

4) in a few months or even years, the total income of a public transport system is expected to decrease.

Surely, economical appropriateness here contradicts consumer acceptance and trust. But the income decrement is expected to vanish after the starting period because cheap one-stop passages are balanced with „heavier" passages (e. g., more active usage of night rides, two-stops or a-few-stops rides, passages for distances beyond the city like in Gdansk, Sopot, Gdynia).

Moreover, there are many benefits of the tariff flexibilization:

1) no gaps in fares;

2) much easier grasp of the public transport rules (actually, it is automatic);

3) passenger's independency of not knowing specific rules;

4) paying fairs is either automatic (by smartphones) or by simple action with a fare-card;

5) work of fare payment controllers is simplified;

6) drivers/operators are obliged to sell less paper tickets;

7) it should be easier to optimize tariffs as true total statistical data are available.

These ones are a stronger reason for implementation. Big cities, like Warsaw, can try the scheme in Figure 4 at least partially.

References

1. Ng A. Transport Nodal System / A. Ng, C. Jiang, P. Larson, B. Prentice, D. Duval. — Elsevier, 2018. — 192 p.

2. Jiménez-Espada M. Diagnosis of Urban Public Transport in the City of Cáceres / M. Jiménez-Espada, R. González-Escobar // Procedia Engineering. — 2016. — Volume 161. — P. 1379 — 1384.

3. Chowdhury S. Public transport users' and policy makers' perceptions of integrated public transport systems / S. Chowdhury, Y. Hadas, V. A. Gonzalez, B. Schot // Transport Policy. — 2018. — Volume 61. — P. 75 — 83.

4. Wong R. C. P. Public transport policy measures for improving elderly mobility / R. C. P. Wong, W. Y. Szeto, L. Yang, Y. C. Li, S. C. Wong // Transport Policy. — 2018. — Volume 63. — P. 73 — 79.

5. Takahashi T. Economic analysis of tariff integration in public transport / T. Takahashi // Research in Transportation Economics. — 2017. — Volume 66. — P. 26 — 35.

6. Olivková I. Comparison and Evaluation of Fare Collection Technologies in the Public Transport / I. Olivková // Procedia Engineering. — 2017. — Volume 178. — P. 515 — 525.

7. Lámbarry F. Stress from an administrative perspective in public transport drivers in Mexico City: Minibus and metrobus / F. Lámbarry, M. M. Trujillo, C. G. Cumbres // Estudios Gerenciales. — 2016. — Volume 32, Issue 139. — P. 112 — 119.

8. Chung Y.-S. Stress, strain, and health outcomes of occupational drivers: An application of the effort reward imbalance model on Taiwanese public transport drivers / Y.-S. Chung, H.-L. Wu // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. — 2013. — Volume 19. — P. 97 — 107.

9. Franek L. Prepaid energy in time of Smart Metering / L. Franek, L. Šastný, P. Fiedler // IFAC Proceedings Volumes. — 2013. — Volume 46, Issue 28. — P. 428 — 433.

10. Krämer J. Beyond the flat rate bias: The flexibility effect in tariff choice / J. Krämer, L. Wiewiorra // Telecommunications Policy. — 2012. — Volume 36, Issue 1. — P. 29 — 39.

11. Lin B. Are people willing to pay more for new energy bus fares? / B. Lin, R. Tan // Energy. — 2017. — Volume 130. — P. 365 — 372.

Рецензія/Peer review : 09.12.2017 р. Надрукована/Printed :11.02.2018 р.
Рецензент: стаття прорецензована редакційною колегією

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 687.17:620.193

Н.В. МИХАЙЛОВА
Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк
В.О. ПРИВАЛА
Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ РОБІТНИКІВ-АПАРАТНИКІВ ТА СЛЮСАРІВ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

В статті проаналізовано захисний одяг для працівників, які займаються обслуговуванням ємностей хімічної, коксохімічної, нафтопереробної та інших галузей вітчизняної промисловості. Встановлено, що існуючі засоби індивідуального захисту із суконних матеріалів є неефективними у разі їх використання в закритих ємностях, в яких присутні залишки кислот, лугів та інших хімічно активних речовин.

Ключові слова: хімічна промисловість, закриті ємності, безпека життя, умови праці, захисний одяг, шкідливі умови, агресивне середовище.

N.V. MIHAILOVA
Eastern National University. Volodymyr Dahl, m. Severodonetsk
V.O. PRIVALA
Khmelnytsky National University

RESEARCHING MATERIALS USED FOR MANUFACTURING PROTECTIVE CLOTHING OF APPARATUS AND CLIMATE INDUSTRY WORKERS

At the domestic enterprises of the chemical industry, the issue of providing special clothing for protection against aggressive factors, is always relevant. This is due to the constant development of the chemical industry and the creation of new compounds and materials. For the normal exploitation of chemical containers at each chemical enterprise, there are brigades of locksmiths and apparatchiks who, in the presence of gas rescuers, regularly carry out regular and repair work, preparation of containers for receiving and transporting, as well as cleaning from the remains of chemical products. Investigation of the physical, mechanical and protective properties of special materials for the manufacture of acid-proof suits has shown that the fibrous composition, bursting characteristics (output), acid resistance (loss of strength after treatment with acid), acid permeability, etc., differ significantly. This is confirmed by the fact that there is no unique special material with universal properties for action, for example, high concentrations of sulphuric, hydrochloric and nitric acids. Therefore, it is necessary to carry out a detailed analysis of the working conditions of the workers and apparel workers of the chemical industry, and thoroughly investigate materials from which traditional protective clothing is manufactured for chemical production. The disadvantages of these insulating suits include the low chemical resistance of a special material to the effect of highly concentrated mineral acids and low bending resistance at low (up to -40 ° C) temperatures, that is, factors that are one of the most important in domestic production. The conducted researches, analysis of literature, as well as the survey of workers of the chemical industry indicate that the development of effective protective clothing of the insulating type for the cleaning of closed capacities remains relevant.

Key words: chemical industry, closed capacities, safety of life, working conditions, protective clothing, harmful conditions, aggressive environment.

Вступ

На вітчизняних підприємствах хімічної промисловості, питання забезпечення спеціальним одягом для захисту від агресивних чинників, завжди є актуальним. Це пов'язано з постійним розвитком хімічної промисловості та створенням нових сполук і матеріалів. Для нормальної експлуатації хімічних ємностей на кожному хімічному підприємстві є бригади слюсарів та апаратників, які в присутності газорятувальників постійно проводять регламентні і ремонтні роботи, підготовку ємностей до прийому і транспортування, а також очищення від залишків хімічної продукції [1–3].

Температура середовища в ємностях може досягати влітку до +30°С при відносній вологості повітря до 95%, а взимку температура на 3–5°С є меншою від зовнішньої. Через конструктивні зміни внутрішніх поверхонь після проведення капітального ремонту ємностей, або через інші технічні причини, підготовка об'єкту роботи апаратниками не завжди приводить до бажаних результатів. Тому очищення від забруднень може проводитися за наявності залишків агресивних середовищ різної концентрації. З огляду на можливість присутності небезпечних і шкідливих виробничих факторів (НШВФ) вітчизняні слюсарі екіпіровані кислотозахисним суконним костюмом (куртка, штани), рукавицями і гумовими чоботами. Крім зазначених засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), робітник надягає рятувальний пояс, до якого кріпиться страхувальна мотузка, а також дихальний шланг від протигаза ПШ-1 або ПШ-2.

Постановка задачі

Зазначені ЗІЗ видаються згідно «Табелю оснащення аварійними засобами ...» і протягом 6–9 місяців повинні перебувати в експлуатації. Однак, як показала практика, вже на 3-4 місяці суконні костюми руйнуються агресивними середовищами мінерального походження, а що стосується їх газової фази (наприклад, пари аміаку, соляної та азотної кислоти), то зазначені куртка і штани, виготовлені з тканого повітропроникного матеріалу, фізично не можуть виконувати газозахисну роль. Дослідження фізико-

механічних і захисних властивостей спеціальних матеріалів, призначених для виготовлення кислотозахисних костюмів показали, що за волокнистим складом, розривними характеристиками (вихідними), кислотостійкістю (втрата міцності після обробки кислотою), кислотопроникністю та інше, істотно відрізняються між собою. Це підтверджує факт відсутності єдиної спеціального матеріалу з універсальними властивостями до дії тільки, наприклад, сірчаної, соляної та азотної кислоти високої концентрації.

Тому є необхідним проведення детального аналізу виробничих умов роботи робітників-апаратників та слюсарів хімічної промисловості, та всебічне ретельне дослідження матеріалів, з яких традиційного виготовляють захисний одяг для хімічного виробництва.

Викладення основного матеріалу

Експериментально доведено, що при додаванні до складу пряжі крім вовняного волокна (60–70%) віскози (до 20%) і поліаміду (10–20%), спеціальні тканини арт. 1В-9-1; арт. 1В-9-2 і арт. 51351-СШ після годинної обробки сірчаною кислотою 80% концентрації, зменшують свої розривні характеристики (по основі) на 14,7%; 14,8% і 14,5% відповідно. Однак, незважаючи на те, що умовами стандарту [4] допускається зменшення міцності до 15%, застосування зазначених матеріалів для виготовлення кислотозахисних костюмів, а тим більше призначених для слюсарів з очищення закритих ємностей, є недоцільним. Про це свідчать також і показники за коефіцієнтами повітропроникності. Наприклад, проби матеріалу арт. 1В-9-1 за одну секунду через площу в 1 $м^2$ пропускають 181,0 $дм^3$ повітря, а проби арт. 1В-9-2 і арт. 51351-СШ - 112,5 $дм^3$ / $м^2$·с і 92,0 $дм^3$ / $м^2$·с відповідно (табл. 1). Врахувати те, що в процесі проведення очищення закритих ємностей має місце виділення газової фази від залишків летючих кислот (соляна, азотна), аміаку, застосування кислотозахисних костюмів у вигляді куртки і брюк, виготовлених із зазначених спеціальних матеріалів практично є недоцільним.

Інша група спеціальних матеріалів (арт. 6929; арт. 49705 «С» і арт. 49706 «С»), яка також застосовується для виготовлення кислотозахисних костюмів, має деякі суттєві відмінності від попередньої. Наприклад, до складу пряжі, крім вовняного волокна (30–40%) входить від 60% поліпропіленових (ПП) волокон (арт. 6929) до 70% (арт. 49705 «С»), а також 70% поліефірних (ПЕ) волокон (арт. 49706 «С»).

Таблиця 1

Деякі фізико-механічні, захисні властивості і гігієнічні показники тканин для кислотозахисного одягу

Найменування	Артикули спеціальних тканин					
	1В-9-1	1В-9-2	51351-СШ	6929	49705 «С»	49706 «С»
1	2	3	4	5	6	7
Поверхнева щільність, г / $м^2$	662	654	626	600	498	511
Розвивальне навантаження смужки 50х100 мм, Н:						
по основі	691	680	966	637	1960	1660
по пітканню	634	630	453	539	880	392
Товщина, мм	2,0	2,0	2,2	2,2	1,6	1,5
Поверхнева щільність ниток на 100 мм, шт. :						
по основі	110	110	243	259	275	275
по пітканню	116	115	152	190	141	146
Усадка, % :						
по основі	2,5	2,7	3,5	3,5	3,0	3,5
по пітканню	1,4	1,6	3,2	3,5	3,0	3,0
Гігроскопічність, %	7,2	7,2	6,3	5,4	4,2	3,1
Повітропроникність, $дм^3/м^2$ ·с	181,0	112,5	92,0	57,5	48,5	115,0
Кислотопроникність 80 % H_2SO_4, с	1200	1200	0.0	23400	5700	5400
Кислотостійкість до 80 % H_2SO_4, по основі, %	-14,7	-14,8	-14,5	-2,3	-1,6	-3,4
Вид оздоблення	ПФЕ	ПФЕ	ПФЕ	ГФ	ГФ	ГКЖ-94
Вид переплетення (кількість шарів)	1,5 саржа	1,5 саржа	1,5 саржа	2,0 саржа	1,5 саржа	1,5 саржа
Волокнистий склад, % :	70 Вов 20 ВВіс 10 ВПам	70 Вов 20 ВВіс 10 ВПам	60 Вов 20 ВВіс 20 ВПам	40 Вов 60 ВПП	30 Вов 70 ВПП	30 Вов 70 ВПЕ

Примітки: ПФЭ – парафіно-фталатна емульсія; ГФ – гідрофобна емульсія; ГКЖ-94 – кремнійорганічна рідина.

Наявність ПП і ПЕ-волокон в пряжі призвело до підвищення кислотозахисних властивостей зазначених матеріалів (табл. 1). Експериментально доведено, що після годинної обробки 80% H_2SO_4 проби

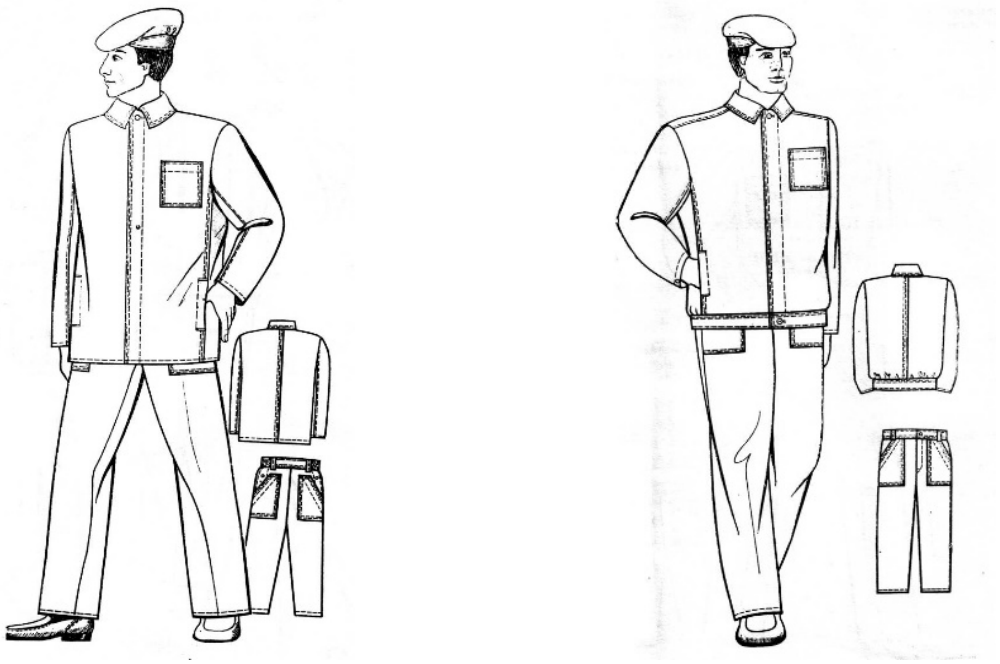
матеріалів арт. 6929; арт. 40705 «С» і арт. 49706 "С" зменшили розривні характеристики тільки на 2,3%; 1,6% і 3,4% відповідно. Що ж стосується інших показників, то необхідно виділити кислотопроникність краплиннорідкої фази 80% H_2SO_4 і коефіцієнт повітропроникності. Процес проникнення агресивного середовища через товщу проби арт. 6929 проходив протягом 23400 с, через товщу проби арт. 49705 «С» протягом 5700 с, а через товщу проби арт. 49706 «С» - за 5400 с (табл. 1).

Отже, застосовування зазначених артикулів тканин лише для виготовлення кислотозахисних костюмів є доцільним, оскільки вони відповідають вимогам стандарту [5] і умов праці хіміків-апаратників. Проте в процесі очищення закритих ємностей слюсар піддається впливу не тільки крапельної, але і газовій фазі, за показниками повітропроникності (табл. 1), захисний костюм з тканого матеріалу у вигляді куртки і брюк не відповідає своєму призначенню за умовами праці та характеристикам НШВФ (табл. 2).

Як вже зазначалося раніше, ЗІЗ для слюсарів по очищенню закритих ємностей є куртка і штани (рис. 1), які виготовлені з кислотозахисного сукна різного асортименту, згідно з вимогами стандарту [6]. Дослідження стану застосовуваної спецодягу проводилося за допомогою різних методик, в тому числі і визначення топографії забруднень небезпечних і шкідливих виробничих факторів і диференціації їх розподілів за площею вироби.

Для проведення зазначеної роботи запропоновано ранжування НШВФ за ступенем і виду їх впливу (випадкове, систематичне) на матеріал спецодягу. Вид впливу перерахованих НШВФ визначали за результатами вивчення топографії забруднень 20 костюмів після 30 днів їх експлуатації.

На підставі проведених досліджень підтверджено наявність в закритих ємностях залишків агресивних середовищ (мінеральні кислоти, луги високих концентрацій, а також розчини солей), не дивлячись на ретельне проведення апаратниками підготовчих робіт. Забруднювачі мінерального походження впливають на матеріали спецодягу постійно і тому їх необхідно розглядати як систематичні.



Тип А Тип Б

Рис. 1. Ескізи загального вигляду костюма чоловічого для захисту від кислот ГОСТ 27652-88 «Костюми чоловічі для захисту від кислот» [7]

Контроль проб матеріалів з захисного одягу показав, що pH розчинів (кислотних і лужних) не зменшується, а рівномірно розподіляється по всій її площі і збільшується, в залежності від часу перебування слюсаря в ємності (табл. 2).

Що ж стосується штанів, то при загальній їх площі у 16800 $см^2$, з агресивними реагентами контактують 10880 $см^2$, тобто 65 %, забруднювачами мінерального і органічного походження контактують 2560 $см^2$ (15,2 %), механічних впливів при одночасному впливі перших двох – 1200 $см^2$ (7,1 %), 2160 $см^2$ (12,9 %) – це їх площа перекрита курткою, а тому дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів не піддається (рис. 2, табл. 3).

Отже, проведений аналіз свідчить про те, що дослідний одяг не відповідає умовам праці робітників, які займаються очищенням закритих ємностей, по показникам захисту.

Таблиця 2

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори при виконанні робіт з очищення закритих хімічних ємностей

Вид ОВПФ і природа їх дії	Концентрація НШВФ, %	Характер впливу на організм робітника	Характер впливу на спецодяг
1	2	3	4
Хімічні: сірчана кислота	До 90 %	Опіки шкіри, слизової оболонки и дихальних шляхів	Руйнування матеріалу
соляна кислота	До 35 %	Опіки шкіри, слизової оболонки и дихальних шляхів, що призводить ларингіту	Руйнування матеріалу
азотна кислота	До 70 %	Роз'їдаюча дія, ураження шкіри та слизової оболонки. Ймовірне пошкодження полості роту, гортані, стравоходу.	Руйнування матеріалу
фосфорна кислота	До 85 %	Інтоксикація, опіки, пошкодження кісткової тканини.	Ймовірне руйнування матеріалу
Аміак	рідкий та газоподібний	Опіки, подразнення, отруєння, емфізема легких, еритремій шкіри.	Газопроникність
Розчини лугів (гідроксид натрію и калію)	до 40 %	Опіки, руйнування живих тканин, небезпечні для очей та дихальних шляхів.	Ймовірне руйнування матеріалу
Фізико-механічні	Гострі краї деталей	Травми, порізи, садни та інше.	Руйнування матеріалу (механічне)
Підвищена вологість	75–84 %	Простудні захворювання.	Намокання спецодягу, збільшення його ваги

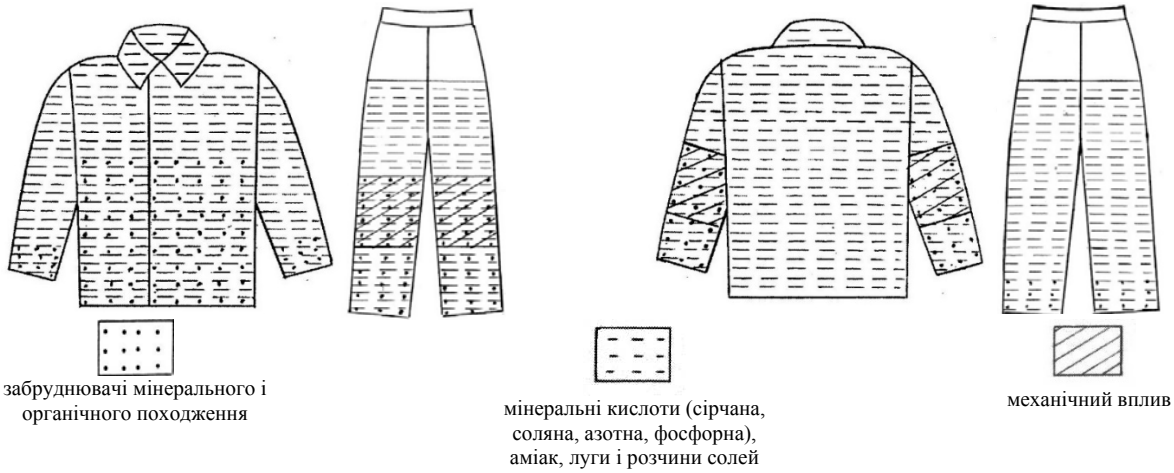


Рис. 2. Схема топографії систематичного впливу ОВПФ на спецодяг в процесі проведення робіт з очищення хімічних ємностей

Крім того, конструкція кислотозахисного костюму така, що в процесі механічних впливів (удари, тиск власної ваги, ребристих поверхонь), ліктьові і колінні суглоби не захищені від їх впливу, а виріб в цілому відноситься до типу негерметичних.

Таблиця 3

Характеристика розподілу НШВФ по площі спеціального костюма

Загальна площа куртки 19500 см^2			Загальна площа брюк 16800 см^2		
Вид НШВФ, площа і відсоток забруднення виробів:					
Забруднювачі мінерального і органічного походження 5440 см^2, 27,9 %	Мінеральні кислоти, аміак, луги, солі, 12960 см^2, 66,5 %	Механічний вплив, 1100 см^2, 5,6 %	Забруднювачі мінерального і органічного походження 2560 см^2, 15,2 %	Мінеральні кислоти, аміак, луги, солі, 10880 см^2, 65,0 %	Механічний вплив, 1200 см^2, 7,1 %

На хімічних підприємствах Європи (Німеччина, Франція, Польща та ін.), для проведення робіт з очищення ємностей застосовуються такі захисні костюми ізолюючого типу, як WorkMaster, WorkMaster pro,

TeamMaster pro та ін. (Фірма «Мегера» Німеччина, Трелькем HPS, Трелькем VPS, Трелькем Супер, а також спеціальні костюми типу «Сплеш» до яких необхідно віднести вироби Трелькем Сплеш 100, Трелькем Сплеш 600, Трелькем Сплеш тисячі, Трелькем Сплеш 2000 (фірма «Треллеборг» Швеція). Крім зазначених фірм, аналогічні вироби, наприклад, Vauter Elite 35- L виготовляє фірма «Ауер» (Австрія). Аналогічну продукцію випускають фірми: «Нокія» (Фінляндія), «Такконі» (Італія) та інші. Як спеціальний матеріал для пошиття відповідних захисних костюмів використовується поліамідна тканина з одно- або двостороннім полімерним покриттям (ПВХ, бутилове, «витон» та інші). Перевагою таких виробів є висока технологія виготовлення, наявність герметичної блискавки-застібки, якісної фурнітури, надійна герметизація швів (метод вулканізації), які є міцними на розрив, естетичність і інше, що дає їм можливість бути конкурентоспроможними.

До недоліків зазначених ізолюючих костюмів слід віднести занижену хімічну стійкість спеціального матеріалу до впливу висококонцентрованих мінеральних кислот та низьку стійкість до згинання при низьких (до -40° С) температурах, тобто факторів, які є одними з основних в умовах вітчизняного виробництва.

Висновки

Таким чином, проведені дослідження, аналіз літератури, а також опитування робітників хімічної промисловості свідчать про те, що розробка ефективної захисного одягу ізолюючого типу для очищення закритих ємностей лишається актуальною задачею.

Література

1. Иванов Ю.А. Хранение и транспортировка жидкого аммиака. / Иванов Ю.А., Стрижевский И.И. – М. : Химия, 1991. – 72 с.

2. Алелин А.Г. Производство серной кислоты / Алелин А.Г. – М. : Высшая школа, 1980. – 244 с.

3. Постников Н.Н. Термическая фосфорная кислота, соли и удобрения на ее основе / Постников Н.Н. – М. : Химия, 1976. – 336 с.

4. ГОСТ 12.1.005-76. ССБТ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Взамен ГОСТ 12.1.005-76 ; Введ. 01.01.89. – Изд-во стандартов, 1988. – С. 72.

5. ГОСТ 16166-80. Ткани полушерстяные для кислотозащитной спецодежды. Технические условия. – Взамен ГОСТ 16166-70 ; Введ.01.01.82. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 7 с.

6. ГОСТ 27652-88. Костюмы мужские для защиты от кислот. Технические условия. – Взамен ГОСТ 12.4.036-78 ; Введ. 01.01.90. – Изд-во стандартов, 1988. – 23 с.

7. Постников Н.Н. Термическая фосфорная кислота, соли и удобрения на ее основе / Постников Н.Н. – М. : Химия. 1976. – 336 с.

References

1. Ivanov Yu.A. Storage and transportation of liquid ammonia. / Ivanov Yu.A., Strizhevsky II - Moscow: Chemistry, 1991. - 72 p.

2. Alelin AG Production of sulfuric acid / Alelin AG - Moscow: Higher School, 1980. - 244 p.

3. Postnikov N.N. Thermal phosphoric acid, salts and fertilizers based on it / Postnikov N.N. - M .: Chemistry, 1976. - 336 p.

4. GOST 12.1.005-76. SSBT General sanitary and hygienic requirements for the air of the working area. - In exchange for GOST 12.1.005-76; Enter. 01/01/1969. – Publishing Standards. - 1988. - P. 72.

5. GOST 16166-80. Wool fabrics for acid-protective overalls. Technical conditions. - In exchange for GOST 16166-70; Introduction.01.01.82. - Moscow: Publishing Standards, 1980. - 7 pp.

6. GOST 27652-88. Men's suits for protection against acids. Technical conditions. - In exchange for GOST 12.4.036-78; Enter. 01.01.90 .: Publishing House of Standards, 1988. - 23 p.

7. Postnikov N.N. Thermal phosphoric acid, salts and fertilizers based on it. - Moscow: Chemistry. 1976. - 336 p.

Рецензія/Peer review : 07.11.2017 р. Надрукована/Printed :20.01.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Карван С.А.

УДК 687.17:656.071.1

А.І. РУБАНКА, Г.М. ТОКАР, М.Д. СТЕЛЬМАХ, А.В. ГОРІНА, Н.В. ОСТАПЕНКО
Київський національний університет технологій та дизайну

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ РІЗНОВИДІВ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ ДЛЯ ПІЛОТІВ ВІЙСЬКОВОЇ АВІАЦІЇ

Для досягнення поставленої мети проаналізовано існуючі різновиди захисного одягу. Проаналізувано і систематизувано різновиди структурних елементів конструктивно-технологічних рішень захисного одягу для пілотів військової авіації залежно від виконуваних службових обов'язків. Виконано системно-структурний аналіз складових захисного одягу для пілотів, а саме захисного комбінезону, теоретично досліджено та оцінено діяльність військовослужбовців. Розроблено інформаційну базу складових захисного одягу для пілотів. На основі теоретичних досліджень структуровано та узагальнено раціональні структури елементів конструктивно-технологічних рішень захисного одягу для пілотів військової авіації.

Ключові слова: конструктивно-технологічне рішення, військова авіація, захисний одяг, комбінезон.

A.I. RUBANKA, G.M. TOKAR, M.D. STELMACH, A.V. GORINA, N.V. OSTAPENKO
Kyiv National University of Technologies and Design

RESEARCH OF CONSTRUCTION AND TECHNOLOGICAL SOLUTION OF VARIETIES OF PROTECTIVE CLOTHING FOR MILITARY AVIATION PILOTS

To analyze and systematize the varieties of structural elements of constructive and technological solutions for clothes for military aviation pilots depending on their official duties. In order to achieve the goal the existing types of protective outfit was analyzed. The system and structural analysis of components for protective clothing for pilots was performed, i.e. protective overalls, the activity of service man was theoretically investigated and assessed. It is established that the pilot's kit has a multilayer packages structure, and must meet a number of requirements that are due to its functional purpose. The first layer of the kit is the underwear, consisting of sweatshirts and pants. The second layer of an equipment kit for a pilot wearing underwear is a flight suit that can consist of trousers and a jacket or overalls. An analysis of the current trends in the world has shown that the advantage is given to the overalls. The third layer is the high-altitude equipment, the varieties of which are oxygen masks, high-altitude compensating suits, high-rise spacesuits, products for the protection of arms and legs, etc. Protective clothing should provide maximum protection and be ergonomic in operation, and have a minimum weight at maximum durability. In the event of an emergency, an obligatory condition is its fire resistance, so fire-resistant materials are used in the manufacture. The main component of the design process of new types of flight clothing is the development of design and technological solutions. Therefore, the clothing for pilots should have an ergonomic design to provide the maximum possible level of protection. The information base of protective outfit for pilots has been designed. Based on theoretical research the rational structures of elements of constructive and technological solutions for protective clothing for military aviation pilots has been structured and generalized.

Keywords: Structural and technological solution, military aviation, protective outfit, overalls.

Вступ. Створення практичного і функціонального захисного одягу для пілотів є відповідальним науково-технічним завданням, що передбачає задоволення потреб військовослужбовців в асортименті високоякісних, естетичних, сучасних швейних виробів, що користуються попитом. Розв'язання цих завдань, вимагає зусиль і глибоких знань від розробників.

Постановка проблеми. Виготовлення захисного одягу для пілотів військової авіації має велике соціально-економічне значення, що уможливлює захист військового пілота, забезпечення його оптимального фізіологічного та психологічного стану з метою збереження здоров'я та працездатності. Вибір структурних елементів для досягнення конструктивно-технологічних рішень захисного одягу для пілотів військової авіації залежить від виконання службових обов'язків. Тому актуальність даної теми є дуже висока.

Результати досліджень. У ході роботи встановлено, що захисний одяг для пілота військової авіації повинен відповідати ряду вимог, що обумовлені його функціональним призначенням. Основним захистом пілотів від зниженого атмосферного тиску та його зміни; збільшеного рівня вібрації і шуму; іонізації повітря атмосфери; зміни температури і вологості повітря; перевантаження аналізаторів тощо, є сумісні засоби індивідуального захисту, зокрема захисний одяг та його елементи. Захисний комплект пілота має багатошарову структуру пакета. Першим шаром комплекту є натільна білизна, що складається з фуфайки та кальсонів. Головним фактором раціонального вибору білизни є високі теплофізичні та гігієнічні властивості. Слід пам'ятати, що білизна не повинна сильно облягати тіло, вона не повинна бути великою або малою щоб не створювати дискомфорт при носінні. Також необхідно зауважити, що білизна одягається на чисте тіло, адже кисень під тиском 5 кг/см^2 і вище при з'єднанні з маслом і жировими речовинами вибухає. Тому при роботі з кисневим обладнанням та інструментами, одяг і руки обслуговуючого персоналу повинні бути чистими і на них не повинно бути слідів жирних плям.

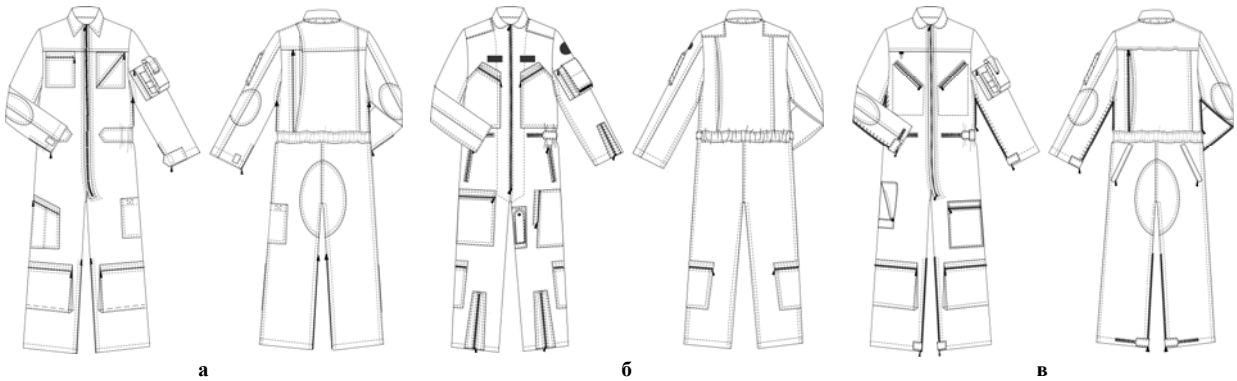
Другим шаром екіпірування пілота, що одягається на натільну білизну, є льотний костюм, що може складатися зі штанів та куртки або комбінезону. Аналіз сучасних тенденцій у світі засвідчив, що перевагу надають саме комбінезону. Головною метою льотного комбінезону є забезпечення життєдіяльності пілота в умовах польоту, в тому числі при виникненні перевантажень, аварійній розгерметизації, а також для порятунку і виживання після аварійного покидання літального апарату. Слід сказати, що комбінезон повинен повністю відповідати льотному спорядженню, що залежить від висоти підйому літака, особливо якщо це сучасні реактивні винищувачі і бомбардувальники які можуть здійснювати польоти на висотах до

20000 м.

Третім шаром є висотне спорядження (ВС) – це індивідуальні засоби захисту для забезпечення життєдіяльності пілота. У поєднанні з різними системами індивідуального захисту висотне спорядження виконує додаткову захисну роль при дії перевантажень, повітряного потоку при аварійному покиданні літального апарату, низьких і високих температурах , УФ опромінення, забезпечує можливість виживання в разі аварійного приземлення або приводнення літального апарату. Основними видами ВС є кисневі маски, висотні компенсуючі костюми, гермошоломи, висотні скафандри, вироби для захисту рук та ніг тощо. Вибір виду ВС визначається льотно-технічними характеристиками літального апарату і режимом його польоту.

Проектування захисного одягу – складне завдання і базується, перш за все, на глибоких аналітичних дослідженнях умов праці, що дозволить в подальшому сформулювати вимоги, і на основі теоретичних і експериментальних досліджень науково-обґрунтовано підійти до вибору матеріалів і розробки конструктивно-технологічних рішень. Захисний одяг, має забезпечувати максимальний ступінь захисту та бути ергономічним в експлуатації, а також мати мінімальну вагу при максимальній міцності. В разі виникнення аварійної ситуації обов'язковою умовою є його вогнестійкість, тому при виготовленні використовуються вогнестійкі матеріали. Основною складовою процесу проектування нових різновидів льотного одягу є розробка конструктивно-технологічного рішення. Отже, одяг для пілотів повинен мати ергономічну конструкцію для забезпечення максимально можливого рівня захисту.

Приклади різновидів існуючих комбінезонів для пілотів наведено на рис. 1.



а **б** **в**

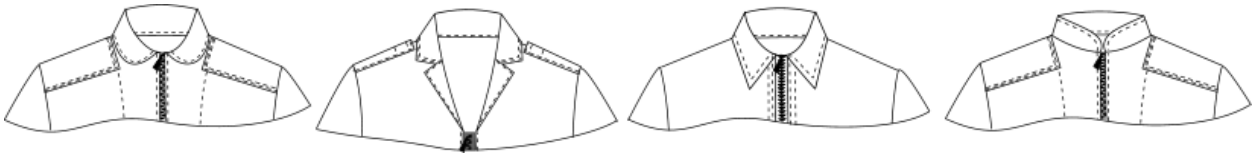
Рис. 1. Різновиди існуючих комбінезонів пілотів військової авіації

Крій рукава в льотних комбінезонах переважно вшивний одношовний. Ширина низу рукавів та штанин регулюється клапанами на текстильній застібці (рис. 2 – а, б, д) або за допомогою застібки-блискавки (рис. 2 – б, в, г, д, е, ж).

а **б** **в** **г** **д** **е** **ж**

Рис. 2. Різновиди регулювання ширини низу рукава: а) за допомогою клапана на текстильній застібці; б) за допомогою застібки-блискавка та клапана на текстильній застібці; г) за допомогою тасьми-блискавка. Низу штанин: г) за допомогою застібки-блискавка; д) за допомогою застібки-блискавка та клапана на текстильній застібці; е) за допомогою потайної застібки-блискавка; ж) за допомогою застібки-блискавка

Комір проектують переважно відкладним або з невисоким стояком. Нижній комір посилений прикладним матеріалом і з'єднаним нитковими способом. Різновиди комірів подано у Рис. 3.



а **б** **в** **г**

Рис. 3. Види комірів для комбінезону пілотів військової авіації: а) стояче-відкладний з закругленими кінцями; б) комір «Англійського» типу; в) стояче-відкладний; г) комір «стояк»

У комбінезоні передбачено велику кількість кишень, які мають захисні клапани, або закриті застібками-блискавками, що виключають можливість потрапляння сторонніх речовин. В нагрудних кишенях

можуть зберігатись різні документи, карти маршруту тощо, за конструктивною особливістю вони можуть бути як накладними так і прорізними (рис. 4. а). На правій штанині розміщується накладна кишеня для рятувальної радіостанції і акумулятор до неї (рис. 4. б). На лівій штанині розташовується кишеня під ніж-стропоріз (рис. 4. в) і велика кишеня на застібці-блискавці (рис. 4. г). Знизу на штанинах передбачено розміщення по одній великій кишені (рис. 4. д), призначенням яких може бути різним (наприклад, для документів або пістолету). На лівому рукаві проектують малу кишеню на застібці-блискавці для зберігання власних документів або телефону, рації. На ній розташовані відділи з клапаном на текстильній застібці для олівців та ручок (рис. 4. е).

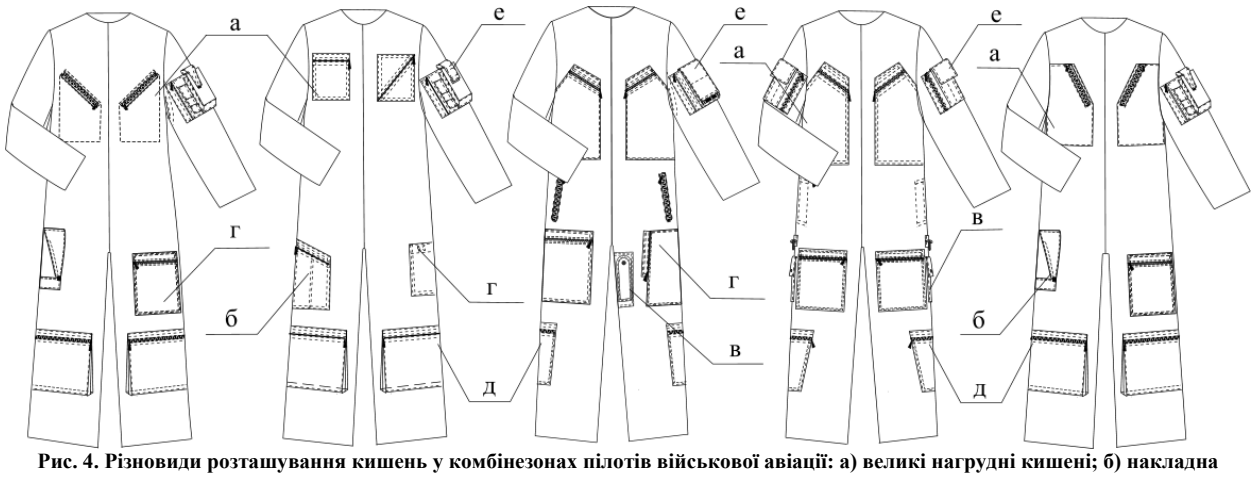


Рис. 4. Різновиди розташування кишень у комбінезонах пілотів військової авіації: а) великі нагрудні кишені; б) накладна кишеня на правій штанині; в) кишеня на лівій штанині під ніж-стропоріз; г) велика накладна кишеня на застібці-блискавці на лівій штанині; д) велика кишеня по низу штанин; е) накладна мала кишеня на лівому рукаві на застібці блискавка, з розташуванням на ній відділів з клапаном на текстильній тасьмі

Для комфортного мікроклімату підодягового простору у комбінезонах пілотів проектують вентиляційні отвори. Найчастіше їх розташовування може бути по низу крокового шва (рис. 5. е), в рукавно-бічних швах (рис. 5. в, д), вертикально на спинці або горизонтально в зоні лопаток (рис. 5. а, б, в, г), в зоні сідниць тощо. Такі отвори, як правило, виконують з мембранною сіткою і закриваються вони застібкою-блискавкою або за рахунок напуску тканини.

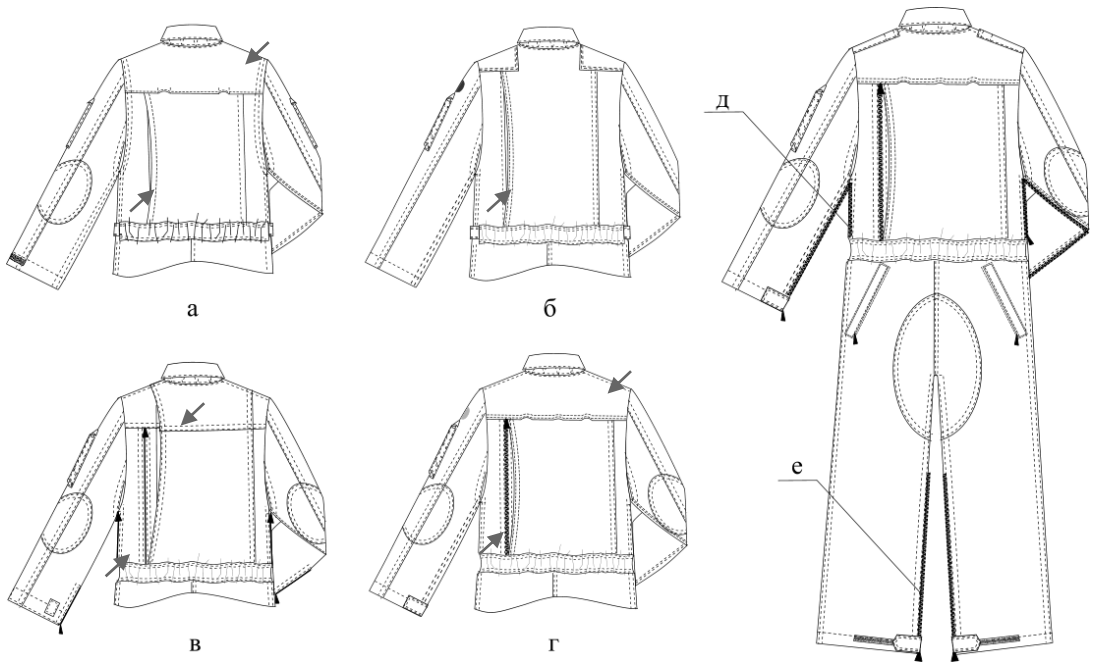
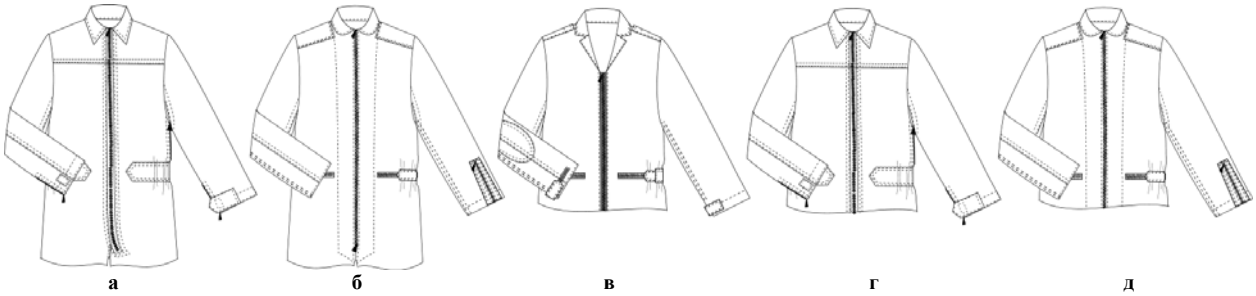


Рис. 5. Різновиди вентиляційних отворів: а) вертикальні та горизонтальні на спинці; б) вертикальні на спинці; в) в бічному шві та вертикальному шві спинки на застібку-блискавка; г) вертикальні та горизонтальні на застібку-блискавка вентиляційні отвори спинці; д) в бічному шві; е) в ділянці низу штанин та в зоні крокового шва на застібку-блискавка

Центральна застібка на металеву тасьму-блискавку обробляється в середньому шві переду, кінець якої може бути злегка зміщений в сторону для зручності технологічної обробки середнього шва. Приклад наведено на рис. 6 (а, б)

По лінії талії розміщується пояс на еластичній тасьмі для регулювання ступеня прилягання (рис. 6. в, г, д).



а б в г д

Рис. 6. Види центральних застібок та поясів на еластичній тасьмі: а) центральна застібка на металеву тасьму-блискавка; б) центральна застібка на металеву тасьму-блискавка з кінцем злегка зміщеним в сторону; в,г,д) пояс на еластичну тасьму

У зонах найбільшого стирання (лікті, коліна, плечі) проектують відповідні накладки (рис. 7. а, б, д). На рукавах та над нагрудними кишенями кріпляться за допомогою текстильних застібок спеціальні відомчі шеврони, що містять інформацію про пілота, його звання та країну (рис. 7. в, г). Інформація про сировинний склад комбінезону і особливості догляду нанесені на внутрішній частині на спеціальній етикетці.

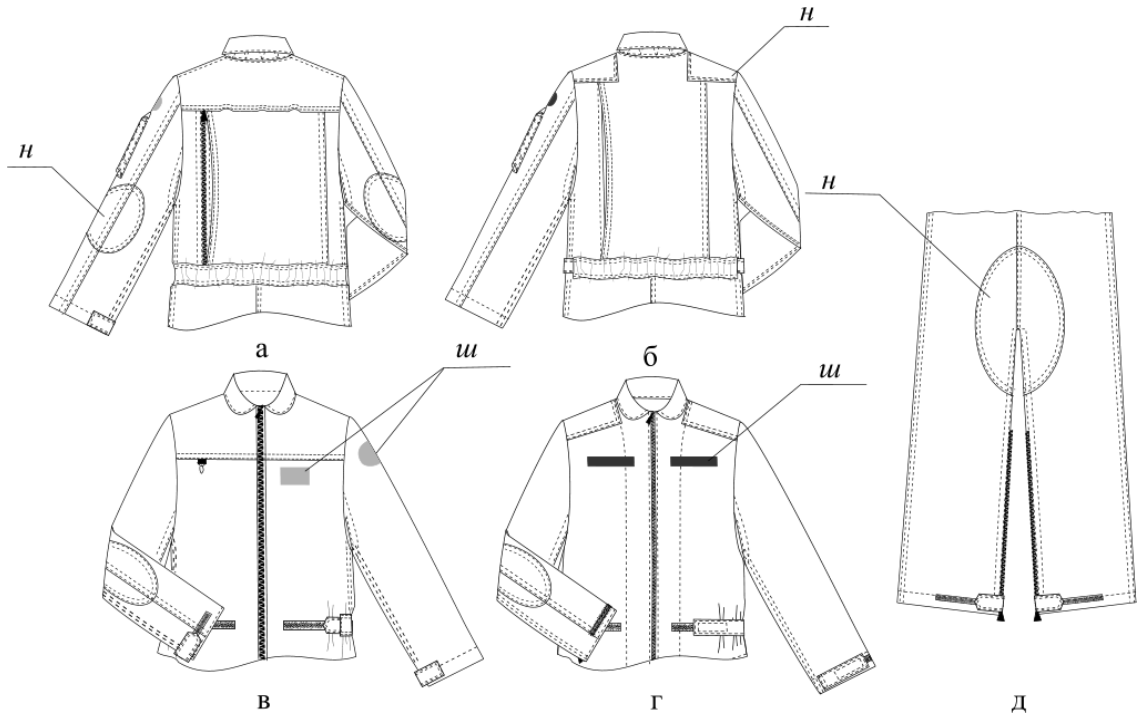


Рис. 7. Різновиди накладок та відомчих шевронів на комбінезоні: а) ліктьові накладка; б) плечові накладки; в,г) спеціальні відомчі шеврони на передні комбінезону та рукаві; д) лея;
***н* – відповідні накладки в зонах найбільшого стирання, *ш* – відомчі шеврони**

Перед використанням одягу відбувається його ретельна перевірка на наявність дефектів та пошкоджень. Заборонено експлуатацію комбінезону за наявності механічних пошкоджень, надрізів, проколів матеріалу (швів) та невідповідності виробів іншим нормативним документам.

Комбінезон має бути багатофункціональним та сумісним з іншими засобами індивідуального захисту. Простим та швидким повинно бути одягання. Отже, проектування спеціального одягу є досить складним та відповідальним завданням, яке потребує чіткого дотримання всіх вимог та правил.

Висновки. В результаті дослідження обґрунтовано обрано раціональну структуру елементів конструктивно-технологічних рішень при виготовленні захисного комбінезону для пілота військової авіації. Комбінезон має бути ергономічним, вогнестійким, багатофункціональним та сумісним з іншими засобами індивідуального захисту. Особливості конструктивно-технологічного рішення напряму залежать від виконуваних службових обов'язків пілота, тому льотний комбінезон повинен повністю відповідати висотному оснащенню, характеристикам літального апарату та режимам польоту.

Література

1. Рубанка А.І. Розробка ергономічного і естетичного захисного одягу для працівників цивільної авіації / А.І. Рубанка, Т.В. Луцкер, Н.В. Остапенко, М.В. Колосніченко // Теорія та практика дизайну. Технічна естетика. – 2015. – № 8. – С. 250–255.

2. Высотный компенсирующий комплект [Електронний ресурс]. – Режим доступу :

http://www.findpatent.ru/patent/225/2258547.html

3. Защитное снаряжение экипажа [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://studfiles.net/preview/2137801/page:9/

4. Комбинезон лётный Nomex [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://wiking.kiev.ua/prod14682SShA_kombinezon_lyotnii_Nomex_khaki_haki_by.html

5. Чистая работа: Пилот [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.the-village.ru/village/weekend/clean-work/118212-chistaya-rabota-pilot

6. Костюмы специальные летние для военнослужащих. Технические условия. – [Введ. 1983-01-01]. – Москва. – 70 с.

7. АКТ військових випробувань нових зразків льотно-технічного обмундирування (тема № 12102-008, шифр "ЛТО") / Збройні Сили України 98177, АР Крим, м. Феодосія. – 2012.

References

1. Rubanka A.I. Rozrobka ergonomichnogo i estetichnogo zahisnogo odjagu dlja pracivnikiv civil'noї aviacії / A.I. Rubanka, T.V. Lucker, N.V. Ostapenko, M.V. Kolosnichenko // Teorija ta praktika dizajnu. Tehnichna estetika. – 2015. – №8. – S. 250 255.

2. Vysotnyj kompensirujushhij komplekt [Elektronnij resurs]: Rezhim dostupu http://www.findpatent.ru/patent/225/2258547.html

3. Zashhitnoe snarjazhenie jekipazha [Elektronnij resurs]: Rezhim dostupu https://studfiles.net/preview/2137801/page:9/

4. Kombinezon ljotnyj Nomex Elektronnij resurs]: Rezhim dostupu http://wiking.kiev.ua/prod14682SShA_kombinezon_lyotnii_Nomex_khaki_haki_by.html

5. Chistaja rabota: Pilot [Elektronnij resurs]: Rezhim dostupu http://www.the-village.ru/village/weekend/clean-work/118212-chistaya-rabota-pilot

6. Kostjumy special'nye letnie dlja voennosluzhashhih. Tehnicheskie uslovija [Vved. 1983-01-01]. Moskva.– s. 70.

7. AKT vijs'kovih viprobuvan' novih zrazkiv l'otno-tehnichnogo obmundiruvannja (tema № 12102-008, shifr "LTO"). Zbrojnih Sil Ukraïni 98177, AR Krim, m. Feodosija – 2012.

Рецензія/Peer review : 07.11.2017 р. Надрукована/Printed :06.02.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Пашкевич К.Л.

УДК 677.84

Д.І. САПОЖНИК, О.М. КАРПЮК
Львівський торговельно-економічний університет

ОДЯГ З КАМУФЛЯЖНИМ ЗАБАРВЛЕННЯМ ТА ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНИХ ВИМОГ ДО НЬОГО

В роботі досліджено питання особливостей колористичного оформлення тканин та одягу спеціального призначення як важливого чинника формування споживних властивостей цієї групи текстильних матеріалів. Розглянуто питання сучасного асортименту тканин досліджуваного призначення. Обґрунтовано, що крім вимог до функціональних та ергономічних властивостей цих матеріалів, для винесення остаточного рішення щодо можливості їх використання за визначеним призначенням, слід обов'язково враховувати вплив чинників фізичного зношування в реальних умовах експлуатації як самого текстильного субстрату, так і нанесених на нього барвників. Зроблений висновок про необхідність розширення асортименту та обов'язковість врахування впливу чинників фізичного зношування в реальних умовах експлуатації як самого текстильного субстрату, так і нанесених на нього барвників і можливості втрати ними маскувальних властивостей одягу з камуфляжним забарвленням.

Ключові слова: текстильний матеріал, тканина, камуфляжне забарвлення, камуфляж, маскування, маскувальний одяг.

D.I. SAPOZHNIK, O.M. KARPYUK
Lviv University of Trade and Economics

CLOTHING WITH CAMOUFLAGE COLORING FEATURES AND MODERN REQUIREMENTS TO IT

In this work, the issues of the color design of fabrics and special purpose clothing, as an important factor in the formation of the consumer properties of this group of textile materials, are investigated. The issues of modern assortment of fabrics of the investigated purpose are considered. It is substantiated that in addition to the requirements for the functional and ergonomic properties of these materials, in order to make a final decision on the possibility of their use for the intended purpose, it is necessary to take into account the influence of the factors of physical deterioration in the real conditions of exploitation of the textile substrate itself and of the dyes applied to it. The conclusion is made on the necessity of expanding the assortment and the obligation to take into account the influence of factors of physical deterioration in the real conditions of exploitation of the textile substrate itself and of the dyes deposited on it and the possibility of losing their masking properties of camouflage-colored clothing. *Investigations on the color design of special purpose fabrics in order to give them masking properties, it is possible to conclude that the materials of this appointment should have not only high values of physical and mechanical properties to the action of various factors of wear. Much attention should be paid to the change of colorimetric indexes and reflection coefficients in different spectral intervals, as the provision of coloring of masking functions is the basis for ensuring the safe professional activity of servicemen, as well as the possibility of losing their masking properties and decoding with the use of modern means of optical and electronic observation. The reform of the system of supply of military personnel, including units that are in real field conditions and information on recent events in selected regions of the country, has begun to show the urgent need to study the properties of special-purpose fabrics with a multi-colored color (so-called camouflage). their changes in real conditions of exploitation (loss of masking properties).*

Keywords: textile material, fabric, camouflage painting, camouflage, masking, masking clothes.

Постановка проблеми

Камуфляж, як і багато інших новацій, в мисливський побут прийшов з армії. Камуфляжний спецодяг має досить широкий спектр застосування. Так, маскхалат або маскувальний костюм просто незамінний у військовій справі, на полюванні, при спостереженні за тваринами на природі. Це ідеальний одяг для снайперів, що дозволяє їм залишатися непомітними. Серед найбільш часто використовуваних видів маскувальною одягу варто відзначити маскувальні куртки, накидки і халати. Широко поширений в військових колах камуфляж одночасно є і найбільш простим варіантом маскувального костюма.

Маскувальний одяг відрізняється практичністю, невибагливістю і довговічністю. Його головне призначення – це приховування замаскованого об'єкта від різних видів оптичної розвідки, фотографування і візуального спостереження. Зазвичай в армії використовуються маскувальний одяг у вигляді костюма або комбінезона.

Маскувальний комбінезон підходить для безсніжного пори року. Він являє собою штани, куртку і капюшон, зшитих воєдино. Його, як правило, виготовляють із бавовняної тканини з двостороннім або одностороннім її забарвленням. З метою посилення маскувального ефекту до комбінезону можна прикріплювати маскувальні матеріали у вигляді трави або дрібних гілок. Такий комбінезон одягають поверх спорядження або обмундирування. Допускається при можливості надягання одягу і на натільну білизну. Такий комбінезон здатний приховати об'єкт від спостереження на відстані від 20 м [1].

Те, що універсального камуфляжу не існує, зрозуміло і військовим, і мисливцям, ще одній категорії активних користувачів маскувальною амуніцією. Кожне забарвлення «працює» тільки в умовах конкретної місцевості, причому з поправкою на пору року. Камуфляж при всьому його різноманітті можна поділити на декілька великих груп: «ліс», «пустеля», «джунглі», «зима» тощо. Головним являється підбір саме того малюнку та конструкції одягу, потрібної для конкретної ситуації. Ці питання нами вже розглядалися в попередніх дослідженнях [2].

Революційним вважається поява так званого, «цифрового» камуфляжу, створеного в 1984 році для

військ НАТО. Сутність його полягає в тому, що на тканину спробували нанести малюнок, схожий на конфігурацію пікселів на екрані монітора, і виявилося, що він робить пересування людини практично непомітним, що і спричинило увагу до нього як в армійських, так і в мисливських колах. Першими переваги «цифри» оцінили американські виробники.

Найвідомішим, безсумнівно, серед них є бренд Sitka Gear®, заснований у 2005 році (рис. 1). Не залишилися осторонь від інновацій і європейські виробники. Помітних успіхів у цьому напрямку домоглася датська компанія F. Engel, що випускає мисливський одяг під брендом Deerhunter® [3].

а **б** **в**

Рис. 1. Куртки для мисливців виробництва Sitka Gear® [3]:
а – Hudson Insulated; б – Incinerator Optifade Ground Forest; в – WF Pantanal

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Головні відмінності марки Deerhunter® – спеціальний крій одягу, що поєднує «цивільний» зовнішній вигляд із зручністю експлуатації на полюванні або рибалці; використання найсучасніших матеріалів, мембран, утеплювачів, фурнітури; пильну увагу до деталей (рис. 2).

Зовсім недавно виробником була запропонована нова колекція, яка називається Recon і має безпосереднє відношення до теми огляду. В її основі – цифровий камуфляж Equipt®. Він являє собою рисунок на тканині без конкретного зображення, який постійно змінюється. При цьому, так звана «піксельованість» використаного рисунку, легко «підлаштовується» під потрібний природній фон – відкриту рівнину, ліс і т. д.

Формулювання цілі статті

В даний час існує загальне прагнення кожної армії мати один універсальний малюнок, допрацьовуються колірні вирішення цього малюнка залежно від типу місцевості. Для Радянського Союзу таким загальним малюнком був спочатку «Бутан» (що існував у вигляді колірних рішень для лісу – на маскувальному костюмі КМ-Л, і у вигляді рішення для пустельно-степової місцевості – на КМ-П), потім «Флора», що також мала більш за одне колірне рішення, і в даний час — маскувальний малюнок «Темний». Якщо «Темний» спочатку розроблявся як універсальний малюнок, а «Бутан» передбачалося використовувати як мінімум в двох колірних рішеннях на різній місцевості (що теж вимагає універсальності), то «Флора» була пристосована саме під зелений рослинний, переважно лісовий фон місцевості, що і зрештою привело до відмови від цього малюнка у Збройних Силах РФ. Камуфляжний малюнок «Дубок», він же «Бутан», розроблений в 1984 році для Радянської Армії, після розпаду СРСР і по теперішній час використовується у підрозділах Збройних Сил України. Рисунок складається з трьох кольорів: ясно-зелений фон із темно-зеленими і коричневими плямами.

В останні роки, український військово-польовий Бренд P1G-Tac зайнявся створенням свого нового універсального камуфляжу, поклавши в основу вивчення різних природних маскуючих рисунків тварин. Камуфляж розроблявся для польового використання в степовій, лісостеповій і лісистій місцевості України в теплу пору року [4].

З усіх галузей легкої промисловості в Україні найменш охопленої є галузь, пов'язана з розробкою спецодягу для воєнізованих підрозділів, мисливців, рибалок тощо. Тим не менш, з кожним роком таке спорядження удосконалюється, стає більш зручним і комфортним в конструктивному вирішенні.

Проведений огляд доступної літератури з питання колористичного оформлення тканин спеціального призначення з метою надання ними маскуючих властивостей, дозволяє зробити висновок, що такі матеріали повинні володіти не тільки високою стійкістю фізико-механічних властивостей до дії різноманітних чинників зношування. Велика увага повинна бути приділене зміні колориметричних показників і коефіцієнтів відбивання в різних спектральних інтервалах, оскільки забезпечення виконання забарвленням функцій маскування є основою забезпечення безпечної професійної діяльності, а також запобігання можливості втрати ними маскувальних властивостей [5].

а б

Рис. 2. Куртки для мисливців (а) та рибалок (б) виробництва Deerhunter® [4]:
а – Deerhunter Rusky; б – Deerhunter Kamchatka

Виклад основного матеріалу

Також, слід враховувати реальні умови експлуатації одягу, проблеми в текстильній та дотичних до неї забезпечуючих галузей легкої промисловості, а також специфічність умов щодо масового виробництва одягу та спорядження відомчого призначення, контролю за вимогами до його якості з боку відповідних державних та інших зацікавлених спеціалізованих виробничих структур та науково-дослідницьких установ.

Автоматично це все вимагає одночасного перегляду норм термінів речового забезпечення військовослужбовців, їх корегування та чіткого окреслення значень характеристик маскувальних властивостей текстильних матеріалів та обґрунтування причин виведення з експлуатації обмундирування з багатоколірним маскувальним забарвленням у випадку невиконання ним свого функціонального призначення, можливості оптичного дешифрування замаскованих об'єктів в різних спектральних зонах спостереження та появи в результаті цього можливостей дешифрування замаскованих об'єктів.

Сучасний камуфляжний і військовий одяг має велике значення для забезпечення боєготовності армійських і воєнізованих підрозділів, широко застосовується для оснащення працівників охоронних структур, користується заслуженою популярністю у любителів активного відпочинку (туристи, мисливці, рибалки), а також досить поширений в будівельній галузі в якості робочого одягу [6]. Така затребуваність пояснюється наступними основними якостями: зручність використання; практичність; зносостійкість і надійність при тривалій експлуатації; можливість використання в будь-яких погодних умовах; здатність витримувати високі навантаження і температури; нетоксичність; якісна фурнітура; просте обслуговування і догляд; прийнятна ціна.

а б в г д

Рис. 3. Сучасні види камуфляжних костюмів [6]:
а – робочий «Варта»; б – утеплений «Арсенал»; в – «Охорона»; г – «Патріот»; д – «Форт»

Військовий і цивільний камуфляжний одяг відрізняється за сезонністю використання, видам, споживчими властивостями, використаними текстильними та іншими матеріалами, різноманітністю фурнітури і окремими іншим особливостям. Камуфляжна форма літнього зразка характеризується стійкістю до сонячних променів і невеликою масою. При цьому вона добре «дихає», легко пропускає назовні природні випаровування людського тіла. У комплект літньої форми, як правило, входить костюм, що складається з

сорочки (або легкого кітеля / куртки) і брюк, і нижня білизна.

Для функціонування в холодних умовах використовуються демісезонна і зимова камуфляжні форми. При виробництві такої форми дотримуються принципу багатошаровості. Спеціальна білизна виконує функцію нижнього шару, у завдання якого входить вбирання і виведення вологи. На середній шар покладається завдання не тільки виведення вологи, а й збереження тепла. До його складу може входити кітель, полегшена куртка і сорочка. Функцією верхнього шару є захист від зовнішніх умов навколишнього середовища. Для верхнього шару входять утеплені куртки (куртки, дощовики, бушлати) у поєднанні з комбінезонами і брюками. Одяг верхнього шару дозволяє виконувати роботи в холодну погоду, добре захищаючи від вітру і різного типу опадів. Такий одяг зберігає свободу рухів, зберігає тепло і не промокає від вологи.

На-сьогодні вітчизняна камуфляжний одяг пошивається з різних тканин. Завдяки сучасним технологіям українськими виробниками налагоджений випуск тканин достатнього рівня якості. Серед них виділяються:

- Ripstop – матеріал виготовлений за спеціальною методикою, відрізняється міцною і щільною структурою, легкістю, стійкий до розривів, часто використовується для пошиття військової форми. Волокниста суміш 35 бав./65 ПЕ волокна, поверхнева щільність матеріалу 230 г/м^2. Матеріал досить щільний, має вологовідштовхуючі властивості. При цьому «дихає» і швидко сохне, що дозволяє носити костюм практично у будь-яку погоду. Тканина приємна на дотик і не викликає подразнень. Важливо, що тканина дуже міцна і стійка до розривів. Такий матеріал може витримувати максимальні навантаження, а армовані нитки запобігають подальшим розривам руйнуванню навіть при пробитті або порізі тканини.
- Greta (Грета) – матеріал відрізняється високою стійкістю до механічних пошкоджень, підвищені водо- і брудовідштовхувальні властивості, невибагливістю в повсякденному використанні. Добре зарекомендував себе при пошитті одягу для військових і охоронних структур. Волокниста суміш 53бав./47 ПЕ волокна, поверхнева щільність матеріалу 215 г/м^2.
- Hard Shell – матеріал для верхнього одягу, який забезпечує надійний захист від води і вітру. Для захисту від холоду необхідною є наявність термобілизни або додаткового одягу.
- Softshell – матеріал з розряду «дихаючих», який ефективно виводить випаровування тіла, забезпечує захист від туману або слабких опадів. Його різновид Shark Skin Softshell дуже популярний у яхтсменів і альпіністів.
- Fleece – трикотаж синтетичного походження (поліестер). Має «дихаючі» властивості, легкий, забезпечує необхідну теплоізоляцію, швидко висихає.

Крім вимог до функціональних та ергономічних властивостей цих матеріалів, на нашу думку, для винесення остаточного рішення щодо можливості їх використання за визначеним призначенням, слід обов'язково враховувати вплив чинників фізичного зношування в реальних умовах експлуатації як самого текстильного субстрату, так і нанесених на нього барвників [7, 8]. А також можливості втрати ними маскувальних властивостей та дешифрування при використанні сучасних засобів оптичного та електронного спостереження [9].

Український військово-польовий Бренд P1G-Tac зайнявся створенням свого нового універсального камуфляжу, поклавши в основу вивчення різних природних маскуючих рисунків тварин. Камуфляж розроблявся для польового використання в степовій, лісостеповій і лісистій місцевості України в теплу пору року [10]. У процесі створення використовувалося сучасне програмне забезпечення, що дозволяє моделювати різні умови освітлення камуфльованого об'єкта і навколишнього ландшафту в тривимірному просторі в режимі реального часу. Для 3D - моделювання камуфляжу і віртуальних тестів були зібрані відео та фото матеріали ландшафтів, типових для різних регіонів України. У результаті цієї роботи вийшов, як вважають в окремих колах, ідеальний для території України камуфляж – «Жаба», який, на існуючу думку, успішно камуфлює людську фігуру практично на всіх ландшафтах, що володіють рослинністю, і на будь-яких дистанціях спостереження.

Для оцінювання споживних властивостей таких текстильних матеріалів, виявлення ступеня їх зношування, прогнозування стану під час експлуатації відомі і застосовуються так звані діагностичні параметри. Діагностичні параметри обирають з множини принципово можливих параметрів, виходячи з функціонального призначення матеріалу, досліджуючи інформативність ознак, формування яких базується на цих параметрах. На основі інформативності ознак визначають кінцевий варіант властивостей об'єктів оцінювання, які використовуються в подальшому для діагностування та прогнозування стану готових виробів з текстильних матеріалів [11]. При цьому слід зазначити, що у відповідній нормативній документації [12] такі вимоги не окреслені, а дослідження впливу чинників зношування на текстильні матеріали спеціального призначення в Україні практично не проводяться.

Висновок

Проведений огляд доступної літератури з питання колористичного оформлення тканин військового призначення з метою надання ним маскуючих властивостей та аналогічних за призначенням текстильних матеріалів, дозволяє зробити висновок, що такі матеріали повинні володіти не тільки високою стійкістю фізико-механічних властивостей до дії різноманітних чинників зношування. Велика увага повинна бути приділене зміні колориметричних показників і коефіцієнтів відбивання в різних спектральних інтервалах,

оскільки забезпечення виконання забарвленням функцій маскування є основою забезпечення безпечної професійної діяльності військовослужбовців, а також можливості втрати ними маскувальних властивостей та дешифрування при використанні сучасних засобів оптичного та електронного спостереження.

Розпочате реформування системи речового постачання військовослужбовців, у тому числі і підрозділів, які знаходяться в реальних польових умовах та інформація про події останнього часу в окремих регіонах країни свідчать про виникнення нагальної необхідності дослідження властивостей тканин спеціального призначення з багатоколірним забарвленням (так званих, камуфльованих)т а їх зміни в реальних умовах експлуатації (втрати маскувальних властивостей).

Огляд інформаційних джерел за напрямком дослідження свідчить про проблемність оцінювання параметрів властивостей текстильних матеріалів з багатоколірним забарвленням, багато в чому через комплексність характеристик таких матеріальних текстильних об'єктів та відсутність в номенклатурі не тільки обов'язкових, але й рекомендованих показників якості текстильних матеріалів. Крім того, в спеціальних дослідженнях практично не приділяється увага питанням збереження маскувальних властивостей одягових текстильних матеріалів в процесі використання під дією чинників їх зношування в реальних умовах експлуатації.

Проведені дослідження питань колористичного оформлення тканин спеціального призначення з метою надання їм маскуючих властивостей, дозволяє зробити висновок, що матеріали цього призначення повинні володіти не тільки високими значеннями фізико-механічних властивостей до дії різноманітних чинників зношування. Велика увага повинна бути приділене зміні колориметричних показників і коефіцієнтів відбивання в різних спектральних інтервалах, оскільки забезпечення виконання забарвленням функцій маскування є основою забезпечення безпечної професійної діяльності військовослужбовців, а також можливості втрати ними маскувальних властивостей та дешифрування при використанні сучасних засобів оптичного та електронного спостереження.

Також, слід враховувати реальні умови експлуатації одягу, проблеми в текстильній та дотичних до неї забезпечувальних галузей промисловості, а також специфічність умов щодо масового виробництва одягу із спеціальних матеріалів відомчого призначення та контролю за ним з боку відповідних державних та військових структур.

Автоматично це все вимагає перегляду норм термінів речового забезпечення військовослужбовців, їх корегування та чіткого окреслення значень характеристик маскувальних властивостей текстильних матеріалів та обґрунтування причин виведення з експлуатації обмундирування з багатоколірним маскувальним забарвленням у випадку невиконання ним свого функціонального призначення, можливості оптичного дешифрування замаскованих об'єктів в різних спектральних зонах спостереження та появи в результаті цього загрози для життя військових.

Література

1. Маскування [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://murmolka.com/post/65148/Entsiklopediya-po-bezopasnosti-SHok-Gaz-Orujie-Vyiderjki.

2. Сапожник Д. І. Маскувальні властивості тканин спеціального призначення з багатоколірним забарвленням / Д. І. Сапожник // Вісник Хмельницького НУ. – 2015. – № 4. – С. 90–93.

3. Оружие и Безопасность 2017 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://ibis.net.ua/ru/products.

4. Челмодеева Т. А. Система подбора и генерации камуфлированных тканей для проектирования форменной одежды / Т. А. Челмодеева, А. А. Герун [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.ntimgudt.ru/attachments/528_сборни%20студенческий%202013.pdf..

5. Камуфляж [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://patriotshop.com.ua.

6. Військовий і камуфляжний одяг [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.ozon.com.ua/ua/spec/voennaya-i-kamuflyazhnaya-odezhda/.

7. Пугачевский Г.Ф. Трехцветное крашение и его влияние на изнашивание тканей / Г.Ф. Пугачевский, Д.И. Сапожник // Тез. докл. XII Всес. конф. по текстильному материаловедению. Т. 3. – К. : КТИЛП, 1988. – С. 80–81.

8. Сапожник Д.И. Особенности изнашивания тканей с многоцветной окраской и разработка метода оценки светоустойчивости текстильных материалов (на примере одежных тканей ведомственного назначения) 6 автореферат дис. … Специальность 05.19.08 – Товароведение промышленных товаров и сырья легкой промышленности / Сапожник Д.И. – М: Типография ЦУМКа Центросоюза, 1989. – 22 с.

9. Сапожник Д.И. Оценка качества тканей с многоцветным рисунком / Д.И. Сапожник, Г.Ф. Пугачевский // Материалы международной научной конференции «Новое в технике и технологии текстильной промышленности». – Витебск : Типография Витебского технологического іинститута легкой промышленности, 1994. – С. 101–103.

10. Камуфляж "ЖАБА" [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://patriotshop.com.ua/index.php?route=information/news&news_id=293.

11. Калявин В. П. Технические средства диагностирования / В. П. Калявин, А. В. Мозгалевский. – Л. : Судостроение, 1984. – 210 с.

12. ТУ У 13.2-00034022-024:2015. Тканини бавовняні та змішані для виготовлення верху форменого та спеціального одягу. Загальні технічні умови [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.mil.gov.ua/content/other/TO_suite.pdf.

References

1. Maskuvannya [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu : http://murmolka.com/post/ 65148/Entsiklopediya-po-bezopasnosti-SHok-Gaz-Orujie-Vyiderjki.

2. Sapozhnyk D. I. (2015) “Maskuval'ni vlastyvosti tkanyn spetsial'noho pryznachennya z bahatokolirnym zabarvlennyam” Visnyk Khmel'nyts'koho NU, Vol. 4, pp. 90-93.

3. Oruzhye y Bezopasnost' 2017 [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu : http://ibis.net.ua/ru/products.

4. Chelmodeeva T.A. Systema podbora y heneratsyy kamuflyrovannykh tkaney dlya proektyrovanyya formennoy odezhdy. URL: http://www.ntimgudt.ru/attachments/ 528_sborny%20studencheskyy%202013.pdf.

5. Kamuflyazh [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu : http://patriotshop.com.ua.

6. Viys'kovyy i kamuflyazhnyy odyah [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu : http://www.ozon.com.ua/ua/spec/voennaya-i-kamuflyazhnaya-odezhda/.

7. Puhachevskyy H.F. Trekhtsvetnoe krashenye y eho vlyyanye na yznashyvanye tkaney / H.F. Puhachevskyy, D.Y. Sapozhnyk // Tez. dokl. XII Vses. konf. po tekstyl'nomu materyalovedenyyu. T. 3. – K.: KTYLP, 1988. – S. 80-81.

8. Sapozhnyk D.Y. Osobennosty yznashyvanyya tkaney s mnohotsvetnoy okraskoy y razrabotka metoda otsenky svetoustoychyvosty tekstyl'nykh materyalov (na prymere odezhnykh tkaney vedomstvennoho naznachenyya). Avtoreferat dysertatsyy. Spetsyal'nost' 05.19.08 – Tovarovedenye promyshlennykh tovarov y syr'ya lehkoy promyshlennosty. – M.: Typohrafyya TsUMKa Tsentrosoyuza, 1989. – 22 s.

9. 9. Sapozhnyk D.Y. Otsenka kachestva tkaney s mnohotsvetnым rysunkom / D.Y. Sapozhnyk, H.F. Puhachevskyy // Materyaly mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsyy «Novoe v tekhnyke y tekhnolohyy tekstyl'noy promyshlennosty». – Vytebsk: Typohrafyya Vytebskoho tekhnolohycheskoho iynstytuta lehkoy promyshlennosty, 1994. – S. 101-103.

10. Kamuflyazh "ZhABA" [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu : http:// patriotshopcom.ua/ index.php? route=information/news&news_id=293.

11. Kalyavyn V. P. Tekhnycheskye sredstva dyahnostyrovanyya / V. P. Kalyavyn, A. V. Moz·halevskyy. – L. : Sudostroenye, 1984. – 210 s.

12. TU U 13.2-00034022-024:2015. Tkanyny bavovnyani ta zmishani dlya vyhotovlennya verkhu formenoho ta spetsial'noho odyahu. Zahal'ni tekhnichni umovy [Elektronnyy resurs]. - Rezhym dostupu : http://www.mil.gov.ua/content/other/TO_suite.pdf.

Рецензія/Peer review : 17.11.2017 р. Надрукована/Printed :10.02.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Пелик Л.В.

УДК 687.17:677.017.87

А. І. РУБАНКА, Н. В. ОСТАПЕНКО, Д. М. ДУБ, В. В. СЕМЕНЕНКО
Київський національний університет технологій та дизайну

УЗАГАЛЬНЕНА СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМФОРТНОСТІ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ

У статті розглянуто систематизацію різновидів конструктивно-технологічних елементів, що забезпечують комфортність захисного одягу на основі елементів аналітичних досліджень. Запропоновано підхід до формування інформаційної бази елементів захисного одягу для забезпечення його комфортності згідно з вимогами. Результати аналізу виявили недосконалість існуючих моделей захисного одягу, що вимагає його удосконалення.

Ключові слова: захисний одяг, забезпечення комфортності, систематизація елементів захисного одягу, класифікація конструктивних елементів.

A. I. RUBANKA, N. V. OSTAPENKO, D. M. DUB, V. V.SEMENENKO
Kyiv National University of Technologies and Design

GENERALIZED SYSTEMATIZATION OF ITEMS FOR PROTECTIVE CLOTHING COMFORT

The article deals with the systematization of varieties of structural and technological elements that provide the comfort of protective clothing on the basis of analytical research. The approach to formation of information base of means of providing comfort of protective clothing according to its requirements is offered. The results of the analysis revealed the imperfection of existing models of protective clothing, which requires its improvement. The article considers the possibilities of influencing the design of protective clothing to provide the required level of functionality and comfort for the needs of the user. On the basis of analytical research requirements, the systematization of varieties of structural and technological elements of protective clothing has been performed. Innovative principles of formation of the information base of means of ensuring the required level of quality of protective clothing according to the requirements of it are offered. It is analyzed how using additional constructive details, technological decisions and decorative elements, it is possible to expand the existing standard range of protective clothing. The classification of matching of the functions and properties of protective clothing to the requirements of ensuring the comfort of the worker and the conditions of production is fulfilled. Separating the basic requirements, such as hygienic, ergonomic, anthropometric, operational, psychophysiological and protective, allows to consider more closely the problem of making effective protective clothing. The article emphasizes the importance of designing protective clothing products that maximally protects the human body from the penetration of harmful particles into the clothing space and provides a number of hygienic requirements. Based on the presented material and the results of the analysis, the imperfection of existing models of protective clothing was identified, which requires its improvement.

Keywords: protective clothing, comfort, varieties of elements, systematization of elements of protective clothing.

Постановка проблеми. Важливою функцією захисного одягу є збереження високої працездатності людини під дією різноманітних несприятливих чинників. Відомо, що процес експлуатації одягу працівниками різних галузей вимагає здійснення великої кількості складних різноманітних рухів та зміни положень, характер яких залежить від виду професії.

Тому конструктивно-технологічне рішення захисного одягу повинно бути розроблено з урахуванням потреб охорони праці і здоров'я працівника. Недостатнє вивчення даного питання вказує на необхідність систематизації елементів за вимогами що висуваються до захисного одягу та вивчення їх конструктивно-технологічних особливостей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Низкою нормативних документів задекларовано вимоги до захисного одягу. Для встановлення відповідності виробів нормативним вимогам використовують стандартизовану номенклатуру показників якості одягу та матеріалів для його виготовлення. На сьогодні існуючий захисний одяг вітчизняного та закордонного виробництва не забезпечує виконання всіх вимог, тому вдосконалення його дизайн-проектування є актуальним науково-технічним завданням.

Запропонований дослідниками в цій галузі [1–3] функціонально-конструктивний підхід до проектування захисного одягу дає можливість використовувати уніфіковані конструкції і деталі одягу, розробляти нові конструктивно-технологічні рішення, які сприяють розширенню їх асортименту.

Формулювання мети статті. Проектований захисний одяг повинен враховувати всі чинники умов праці, які впливають на працездатність та здоров'я людини. Першочерговим завданням у проектуванні одягу є вивчення низки чинників робочого процесу і навколишнього середовища, у якому відбувається професійна діяльність людини. Ретельний аналіз цих умов визначає особливості розробки ефективного та надійного одягу.

Тому метою даної роботи є аналіз та систематизація існуючих різновидів елементів для забезпечення комфортності у захисному одязі, удосконалення конструктивних та технологічних аспектів його проектування.

Для реалізації сформульованої мети роботи визначено наступне: вивчено існуючий асортимент захисного одягу і матеріалів, що використовують для його виготовлення, виконано розробку оптимізованих параметрів захисного одягу, проаналізовано характеристики захисного одягу, що забезпечують комфортні умови праці робітників різних галузей, розроблено підхід до формування інформаційної бази елементів забезпечення комфортності у захисному одязі.

Основна частина. Євроінтеграція України, впровадження безпечних умов праці, підвищення рівня

індивідуального захисту працівників призвели до суттєвого збільшення попиту на захисний одяг. Відповідно зросли і вимоги, які висуваються до якості захисного одягу. Головне завдання галузі у цьому напрямку —забезпечення цих вимог з урахуванням всіх аспектів експлуатації у сфері застосування виробів.

Одним з важливих питань державної політики є створення безпечних для здоров'я і життя умов праці. Це передбачає організацію низки відповідних заходів на виробництві та забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, які відіграють важливу роль в профілактиці травматизму і професійних захворювань, оскільки сучасними технічними засобами не завжди вдається усунути вплив небезпечних і шкідливих виробничих та кліматичних факторів на організм людини.

Удосконалення конструктивного рішення захисного одягу та його елементів повинно стати одним з основних напрямків в процесі створення нових моделей з відповідним вибором необхідних матеріалів. Для цього необхідно спроектувати виріб що, по-перше максимально захищає людину від проникнення шкідливих частинок в підодяговий простір і водночас забезпечує гігієнічні вимоги (тепло- та повітрообмін), а, по-друге, зручний для виконання характерних робочих рухів і поз, а також має добре естетичне сприйняття.

Однією з умов створення сучасного високоякісного захисного одягу є дотримання ергономічних вимог комфортності, що висуваються до нього. Недостатнє врахування цих вимог при проектуванні захисного одягу може стати причиною виникнення проблем під час його експлуатації (підвищення витрати енергії працівника, нестабільність його психоемоційного стану тощо).

Асортимент комплектів сучасного захисного одягу є дуже різноманітним, але найчастіше він складається з куртки та штанів, рідше напівкомбінезонів. За статистичними даними встановлено, що такі комплекти є найбільш ефективними та зручними в користуванні.

В залежності від необхідного рівня захисту він може виготовлятись з додатковими накладками, вентиляційними отворами, вставками тощо.

Для зручності використання одягу у відповідності до характерних рухів та поз потрібно використовувати анатомічний крій, компенсувати динамічні прирости за рахунок проектування додаткових складок, виточок, властивостей матеріалів тощо. Конструкція виробів повинна забезпечити можливість правильної посадки на тілі споживача. Захисний одяг має залишатись в правильному положенні протягом усього терміну використання, незалежно від умов навколишнього середовища, рухів та положення працюючого. Для цього проектуються деталі, що регулюють ширину виробу по лінії низу, талії, горловини і низу рукава (поясами, кулісками, хлястиками, патами, манжетами, напульсниками, зав'язками, еластичними тасьмами тощо).

Попередній аналіз характерних рухів і поз робітників виявив їхнє різноманіття, що потребує їх систематизації з метою обґрунтування функціональної і конструктивної доцільності моделей захисного одягу різного призначення. Тому з метою дотримання ергономічних вимог, таких як зручність при експлуатації, нами розглянуто різні види вставок, складок та виточок для забезпечення свободи руху працівників у виробничих умовах. Такі види конструктивних елементів проектуються в місцях найбільших навантажень — на ліктях, колінах, спині при розведенні рук.

Конструкція одягу має забезпечувати максимально просте та правильне його одягання та знімання, зручність у використанні у відповідності до характерних рухів та поз. Тому в захисному одязі передбачено засоби регулювання розмірів, що забезпечують припасування захисного одягу до фігури людини. Оскільки його проектують на обмежену кількість розмірів та умовно-типову фігуру, мають бути передбачені елементи для фіксації виробів на фігурі працівника – кулiски по талії, кнопки по низу рукавів та виробу, пати тощо.

При проектуванні захисного одягу особливу увагу приділяють таким конструктивно-технологічним елементам як колінні, ліктьові накладки, леї тощо. Накладки відрізняються за розміщенням, конфігурацією, розміром, формою, пакетом матеріалів тощо. Для вибору виду накладок, враховують такі фактори як сфера діяльності працівника, вид, інтенсивність та повторюваність небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища, топографії їх впливу на різні частини і ділянки одягу тощо. Для збільшення терміну експлуатації накладки проектуються в місцях найбільшого зношування. При цьому кількість накладок має бути необхідною і достатньою за умов ергономічності, технологічності та економічності конструкції. Накладки повинні забезпечувати достатній захист від подряпин, порізів, проколів у визначених умовах експлуатації виробу, а також мати амортизаційні властивості, достатні для захисту різних ділянок тіла, що зазнали удару об'єктами різного роду (падаючими, виступаючими тощо), зокрема, від переломів і проникних ушкоджень.

Відсутність природної вентиляції в захисному одязі призводить до зростання температури, відносної вологості в підодяговому просторі, а це, в свою чергу, знижує рівень комфортності працівників. Забезпечення гігієнічних вимог здійснюється в основному за рахунок використання спеціальних матеріалів, а також конструктивним шляхом. При використанні вентиляційних отворів, за місцем розміщення у виробах відомими є вентиляційні елементи у зоні лопаток, грудей, стегон, поперековій та підпахвовій зонах тощо. Працівник повинен мати можливість самостійно здійснювати регулювання температури повітря підодягового простору за допомогою використання різноманітної фурнітури в конструкції вентиляційних елементів. До них належать застібки-блискавки, текстильні застібки, кнопки тощо. Вибір місця, форми, кількості вентиляційних елементів здійснюється залежно від видів небезпек, інтенсивності, повторюваності,

топографії впливу небезпечних і шкідливих чинників тощо. Вентиляційні елементи доповнюють гігієнічні властивості матеріалів завдяки регулюванню повітрообміну, що здійснюється за рахунок різниці температур повітря підкостюмного простору і оточуючого зовнішнього середовища.

При конструюванні захисного одягу особлива увага приділяється формі, кількості і розташуванню кишень. Куртки найчастіше оснащуються зовнішніми накладними, прорізними, кишенями у шві, з клапанами або без них. Місце їхнього розташування визначається з урахуванням характеру роботи і умов експлуатації. Штани та напівкомбінезони можуть мати бічні, задні, передні кишені з клапанами або бути без них.

Для максимальної зручності і свободи руху під час робочого процесу, в конструкції захисного одягу передбачаються деталі і вузли з можливістю регулювання довжини і ширини виробу. Для цього використовують таку фурнітуру як ґудзики, кнопки, текстильну застібку, еластичну тасьму, застібки-блискавки, напівкільця, пряжки.

Важливою вимогою до сучасного захисного одягу є його естетичний вигляд. На сьогоднішній день поняття моди є невід'ємною частиною і для виробництва захисного одягу. В Україні набув розповсюдження термін "євроспецодяг".

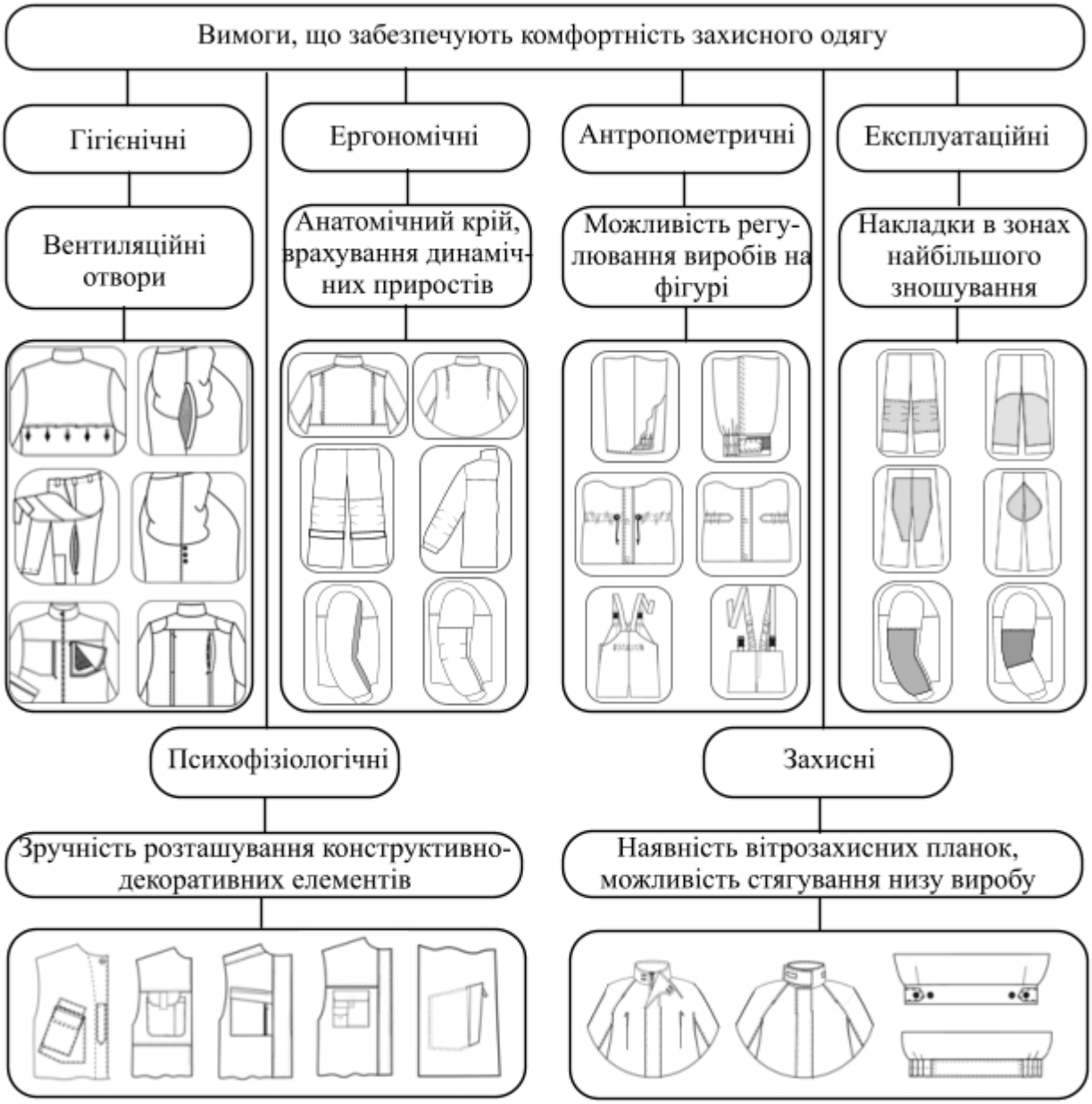


Рис. 1. Різновиди елементів за вимогами до захисного одягу

Під цим поняттям мається на увазі такий одяг, що відповідає європейським вимогам. Він є функціональний, може трансформуватися з куртки в жилет, з демісезонної в зимову куртку (за рахунок відстібної утепленої підкладки) зі знімним капюшоном. Захисний одяг такого виду має безліч зручно розташованих, а також функціональних кишень і при цьому використовується гармонійне поєднання кольорів.

Висновки

В даній роботі розглянуто актуальну проблему створення ефективного сучасного захисного одягу за рахунок використання раціональних конструктивно-технологічних рішень. Теоретично обґрунтовано залежність захисних властивостей одягу від проектування окремих його елементів. Запропонована узагальнена систематизація різновидів елементів забезпечення комфортності за різними вимогами.

Отже, врахування і чітке дотримання встановлених вимог до конструктивного рішення, технології та матеріалів сприятиме створенню високоякісного одягу для захисту від загальних виробничих забруднень і механічних впливів.

Література

1. Дизайн-проектування виробів спеціального призначення : навчальний посібник / Н. В. Остапенко, М. В. Колосніченко, Т. В. Луцкер та ін. — К. : КНУТД, 2016. — 320 с.

2. Ергономіка і дизайн. Проектування сучасних видів одягу : навчальний посібник / М. В. Колосніченко, Л. І. Зубкова, К. Л. Пашкевич та ін. — К. : НВЦ Профі, 2014. — 386 с.

3. Колосніченко М. В. Проектування спеціального одягу: Нормативні вимоги до спеціального захисного одягу : методичний посібник / Н. В. Остапенко, М. В. Колосніченко. — К. : КНУТД, 2008. — 128 с.

4. Одежда отряда специального назначения / О. Н. Харлова, Д. С. Кокина — Open science, 2015. — 109 с.

5. ДСТУ 2428 – 94 Виробничий одяг. Вироби і деталі швейні. Терміни і визначення. — К. : Держстандарт України, 1995. — 38 с.

6. Требования к спецодежде [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://art-assorty.ru/6904-trebovaniya-specodezhde.html

7. Технічний регламент засобів індивідуального захисту [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/761-2008-п

References

1. Dyzajn-proektuvannja vyrobiv special'nogo pryznachennja: Navchal'nyj posibnyk / N. V. Ostapenko, M. V. Kolosnichenko, T. V. Lucker ta in. — K.: KNUTD, 2016. — 320 s.

2. Ergonomika i dyzajn. Proektuvannja suchasnyh vydiv odjagu. Navchal'nyj posibnyk / M. V. Kolosnichenko, L. I. Zubkova, K. L. Pashkevych ta in. — K.: NVC Profi, 2014. — 386 s.

3. M. V. Kolosnichenko. Proektuvannja special'nogo odjagu: Normatyvni vymogy do special'nogo zahysnogo odjagu metodychnyj posibnyk / N. V. Ostapenko, M. V. Kolosnichenko — K.: KNUTD, 2008. — 128 s.

4. Odezhda otrjada special'nogo naznachenyja / O. N. Harlova, D. S. Kokina. — Open science, 2015. – 109 s.

5. DSTU 2428 - 94 Vyrobnychyj odjag. Vyroby i detali shvejni. Terminy i vyznachennja. — K.: Derzhstandart Ukrai'ny, 1995. – 38 s.

6. Trebovanyja k specodezhde. URL: http://art-assorty.ru/6904-trebovaniya-specodezhde.html

7. Tehnichnyj reglament zasobiv indyvidual'nogo zahystu. URL: http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/761-2008-p

Рецензія/Peer review : 14.11.2017 р. Надрукована/Printed :11.02.2018 р.
Рецензент: д. т. н., проф. Пашкевич К. Л.

УДК 677.4:677.017.56

Г.О. КОСТЮК, Н.В. САДРЕТДІНОВА
Київський національний університет технологій та дизайну

ПРОЕКТУВАННЯ ВОЛОГОЗАХИСНОГО ОДЯГУ З ПРОГНОЗОВАНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ПАРОПРОНИКНОСТІ

У статті розглянуто аспекти виготовлення вологозахисного одягу з високими показниками паропроникності. Виконано аналіз сучасних напрямів створення вологозахисного одягу. Проведено аналіз текстильних матеріалів для виготовлення вологозахисної спортивної куртки та розроблено рекомендації щодо конструктивного устрою куртки. Виконано аналіз варіантів ниткових з'єднань, що використовуються для виготовлення захисного одягу. Надано характеристику вітчизняних та закордонних способів визначення паропроникності текстильних матеріалів. На основі проведеного аналізу розроблено аналог установки для вимірювання паропроникності. Проведено експериментальну апробацію розробленої установки. Виконано порівняння значень паропроникності, отриманих гостованим та альтернативним методами.

Ключові слова: мембрана, паропроникність, вологозахисний одяг, установка.

H.A. KOSTIUK, N.V. SADRETDINOVA
Kiev National University of Technologies and Design

DESIGN OF WATERPROOF CLOTHING WITH PROJECTED VAPOUR PERMEABILITY INDICATORS

The article deals with aspects of manufacturing of waterproof clothing with high permeability characteristics. The analysis of modern directions of creation of waterproof clothes is executed. The analysis of textile materials for the production of a waterproof sports jacket was carried out and recommendations on the design of the jacket were developed. The analysis of variants of filament joints, used for manufacturing of protective clothing, is carried out. As a result of the analysis of constructive solutions of a sports jacket for extreme conditions with high humidity, a matrix of constructive and functional elements has been formed that will ensure the comfortable use of this type of clothing. On the basis of the analysis of the materials and the constructive system, the recommendations on the rational technological device and the complete set of clothes are developed. The technical drawing of a sports jacket with waterproofing properties is presented. The characteristic of domestic and foreign methods for determining the permeability of textile materials is given. On the basis of the conducted analysis, an analogue installation for measuring vapour permeability has been developed, based on the principle of "vertical standing cup", which is described by the American standard document ASTM E96. At the developed laboratory installation the experimental testing of the developed methodology was carried out, a study of samples of materials and packages of materials offered for the manufacture of a jacket was carried out on the developed installation according to ASTM E96 and GOST 22900-78 in the laboratory "Textile - TEST". Comparison of the values of vapour permeability obtained by guest and alternative methods is performed.

Keywords: membrane, vapour permeability, waterproof clothing, installation..

Постановка проблеми

Людський організм у процесі життєдіяльності постійно виділяє у підодяговий простір вологу, кількість якої залежить від кліматичних умов, характеру праці та індивідуальних особливостей людини. Комфортний стан людини у значній мірі залежить від спроможності матеріалу забезпечувати виведення залишків пароподібної вологи з підодягового простору. На теперішній час ступінь комфорту став одним з основних критеріїв при проектуванні одягу [1].

Для створення вологозахисного одягу використовується велика кількість різних матеріалів, проте, найбільшою популярністю користуються мембранні тканини, які, поряд з високими вологозахисними властивостями, є досить комфортними завдяки паропроникності. Висока вологості в підодяговому просторі спричиняє охолодження організму людини. При цьому відбувається зміна функціонального стану центральної нервової системи та зменшується працездатність. Показник паропроникності, зокрема, одягу для спорту, туризму та відпочинку, є важливим показником, яким не можна нехтувати. Адже для матеріалу з хімічної сировини, які доволі часто використовуються у виробництві спортивного одягу, характерний низький рівень паропроникності.

Оскільки в поширенні мембранних матеріалів зацікавлені, в першу чергу, їх виробники, в джерелах масової інформації присутня велика кількість повідомлень, які «обіцяють» споживачеві максимальний комфорт при використанні одягу на мембранній основі в будь-яких умовах, не приводячи достатніх аргументів та не спираючись на результати конкретних досліджень. Наявна інформація про властивості мембранних тканин переважно стосується їх захисних функцій: водотривкості, термічного опору, тощо. Оскільки виробники зацікавлені в пропагуванні переваг мембранних тканин, надана інформація про їх властивості, особливо гігієнічні, потребує перевірки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботі [2] наведена систематизація методів дослідження паропроникності текстильних матеріалів, надає можливість швидкого орієнтування в великій кількості методів та показників для визначення доцільності використання тієї чи іншої методики в залежності від задач дослідження.

Для розробки установки для визначення паропроникності за основу взято іноземний стандарт на, який існує нормативний документ ASTM E96 [3].

За відсутністю у лабораторіях КНУТД унормованих установок [4] для визначення теплозахисних характеристик матеріалів розроблено установку для визначення паропроникності.

Отже, на основі результатів проведеного аналізу було встановлено, що наразі існує необхідність в

додаткових дослідженнях паропроникності пакетів матеріалів на основі мембранних тканин. При цьому проблематичним є вибір обладнання для дослідження показника паропроникності, оскільки доступні у вітчизняних лабораторіях установки є застарілі, а процес визначення показника пов'язаний зі значними витратами часу та електроенергії.

Також потребують систематизації конструктивні та технологічні параметри, які сприятимуть покращенню ергономічності вологозахисного одягу при збереженні чи, навіть, покращенні його функціональності та зносостійкості.

Формулювання мети дослідження

В зв'язку з цим, метою дослідження є покращення ергономічності вологозахисного одягу за рахунок використання раціонально підібраного пакету матеріалів, конструкції та технології виготовлення.

Викладення основного матеріалу дослідження

Відомо, що властивості готового виробу значною мірою залежать від властивостей матеріалів, що використовуються для його виготовлення. З метою раціонального добору складових пакету спортивної куртки з вологозахисними властивостями було проведено аналіз текстильних матеріалів для верху, підкладки та утеплювача.

За результатами аналізу мембранних матеріалів для виготовлення вологозахисної куртки було обрано тканину з мембраною GORE-TEX, країна виробник США. Має два шари: верхній – поліефірна тканина полотняного переплетення, нижній водотривкий - ПТФЕ (тефлон), з поверхневою густиною 200 г/м^2.

Для встановлення відповідності нормативним вимогам проведено дослідження повітропроникності, опору до зволоження та розривного навантаження поверхні мембранних тканин. Аналіз результатів свідчить про те, що обрані матеріали відповідають нормативним вимогам.

В якості підкладки обрано поліпропіленовий матеріал, як такий що забезпечує відведення зайвої вологи з підодягового простору. Для з'єднання деталей використовуються зносостійкі поліефірні нитки із комбінованою герметизацією. Для утеплювача рекомендується використовувати неткані матеріали Тінсулейт та Комфортемп, які мають здатність утримувати повітря, зберігати тепло та зручні в експлуатації.

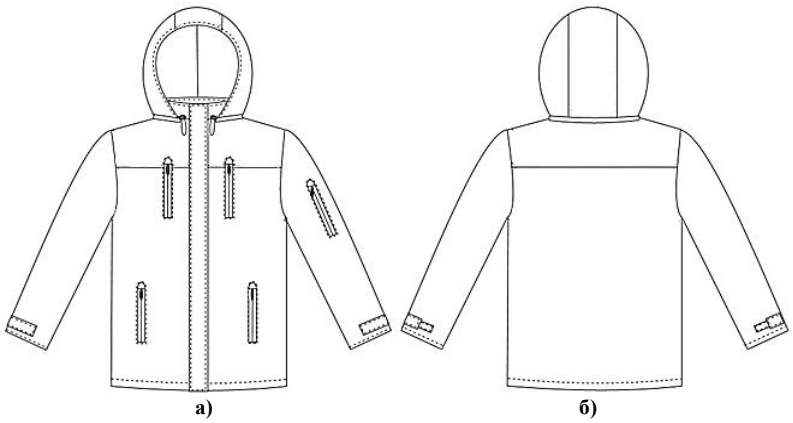
Виконано аналіз фурнітури для вологозахисної куртки. Для усунення зайвих отворів через які може проникати волога обрано фурнітуру: водотривку тасьму-блискаву, тасьма «велкро», куліси з регулюванням.

В результаті дослідження сучасних напрямів створення вологозахисного одягу, було встановлено, що шляхом застосування різних методів забезпечення вологозахисних властивостей одягу, можна отримати водонепроникний та вітронепроникний ергономічний захисний одяг. При цьому необхідно раціонально поєднувати конструкцію, технологію виготовлення виробу з методами забезпечення вологозахисних властивостей.

В результаті аналізу конструктивних рішень спортивної куртки для екстремальних умов з підвищеною вологістю сформовано матрицю конструктивних та функціональних елементів, що забезпечать комфортне використання даного виду одягу [5]. На основі проведеного аналізу матеріалів та конструктивного устрою розроблено рекомендації з раціонального технологічного устрою та комплектації одягу. Технічний рисунок спортивної куртки з вологозахисними властивостями (рис. 1).

Для забезпечення вологозахисних властивостей куртки використані наступні елементи:

- довжина нижче лінії стегон для збільшення площі захисту;
- рукав одношовний, вшивний з поглибленою проймою для забезпечення свободи руху;
- по низу рукава манжет з тасьмою «велкро» для фіксації низу рукава та усунення зайвих отворів через які може проникати волога;
- пілочка та спинка з кокеткою, яка виготовлена з мембранного матеріалу з більш високими показниками водотривкості;
- низ куртки з еластичною тасьмою та фіксаторами по бокам;



а) **б)**

Рис. 1. Куртка вологозахисна: а) вигляд спереду; б) вигляд ззаду

- з капюшоном, який є знімний, двомовний, з підсиленням та додатковим захистом від вологи, з

регулюванням лицьового вирізу;

- з прорізними кишенями з водотривкою застібкою-блискавкою;
- з закритою застібкою на водотривку тасьму-блискаву з планкою на тасьму «велкро»;
- з внутрішніми накладними кишенями з прозорого полімерного матеріалу.

Одним з найбільш важливих чинників при розробці технологічного устрою виробу є вибір варіантів з'єднання деталей між собою. Для вологозахисного одягу рекомендують використовувати ниткові, клейові та зварювальні види з'єднань. Оскільки попередні дослідження показують, що клейові та зварювальні з'єднання є недовговічними, найкращим варіантом для заданого асортименту є ниткові з'єднання. При цьому постає питання про забезпечення герметичності швів оскільки в результаті проколів матеріалу голкою утворюються отвори, здатні пропускати вологу. Найбільш поширеним засобом забезпечення водотривкості швів є їх герметизація. Сучасні способи утворення герметичних швів приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Способи утворення герметичних швів [6]

Стадії обробки в процесі виготовлення швейного виробу	Способи
1	2
Обробку вихідних матеріалів і деталей	Попередня обробка швейних ниток: - спеціальне просочування швейних ниток; - спеціальне просочування ниток з наступним «тепловим ударом». Обробка країв деталей герметиком з наступним просушуванням: - з наступною обробкою швів відповідним розчинником; - з наступним покриттям місця з'єднання плівкою або стрічкою; - з наступним розплавленням нанесеного герметика; - без наступної обробки
Герметизації швів в момент зшивання	Подача герметика під час просування матеріалу при зшиванні. Накладення спеціальної прокладки в зоні виконання шва. Нашаровування покриття із суміші речовин герметиків при шитті.
Герметизації швів готового виробу	Промазування швів вручну.
	Розпилювання герметика під тиском на шви. Прокладання спеціальної плівки, стрічки, тасьми по шву. Розплавлення попередньо нанесеного герметика або матеріалу. Опускання готового виробу в герметик.

Рис. 2. Умовне зображення шва

Оскільки герметичність швів може пошкоджуватись в процесі експлуатації та догляду за виробом, важливо правильно підібрати види швів для конкретних ділянок виробу. Такі дослідження були проведені в роботі [7] в результаті чого було встановлено, що в найбільш відповідальних місцях з'єднання деталей рекомендується використовувати шов з двома паралельними строчками (рис. 2).

Завдяки такій конструкції шва відсутні проколи на поверхні мембранної тканини. А за рахунок подвійної строчки, утворюється умовний бар'єр для вологи.

Як було зазначено вище для спортивного волозахисного одягу поряд із захисною функцією важливе значення має комфортність. Основною умовою комфортності є створення нормальних умов вологозахисного мікроклімату, що можливе лише за умов збереження теплового балансу та регулювання вологості завдяки паропроникності матеріалів верху.

Паропроникність – здатність текстильних матеріалів пропускати пари вологи із середовища з підвищеною вологістю в середовище із зниженою вологістю.

Згідно завдань проведено аналіз вітчизняних та закордонних методів визначення паропроникності, в результаті якого були виділені наступні основні методи (рис. 3):

- « метод сорбенту» – за яким, перенесення пари здійснюється з зовнішнього середовища у склянку (рис. 3,а);
- «водний метод» – за яким, перенесення пари здійснюється у напрямку зі склянки у зовнішнє середовище (рис. 3,б);

- «перевернутий водний метод» – аналогічний «водному методу», але склянка перевернута так, що проба знаходиться в контакті з водою (рис. 3,в)

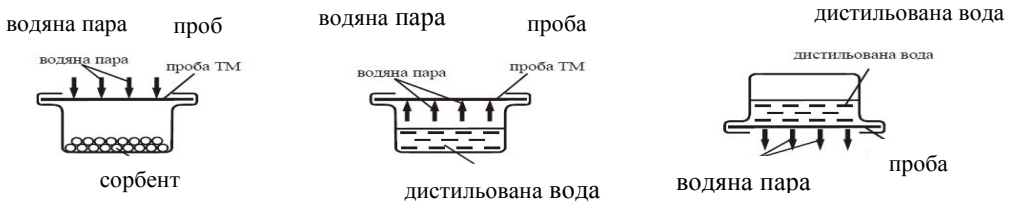


Рис. 3. Схеми визначення паропроникності за «методом склянки» згідно зі стандартом ASTM E96

Обладнання, що використовується для дослідження паропроникності, переважно імпортного походження та досить високої вартості. Доступні у вітчизняних лабораторіях установки є застарілі, а процес визначення показника пов'язаний із значними витратами часу та електроенергії. Тому виникла необхідність розробити аналог установки вимірювання паропроникності, прототипом якого обрано тест з «вертикально стоячою чашкою» ASTM E96, як такий, що найбільш повно імітує реальні умови процесу в умовах експлуатації.

Розроблена установка представлена на (рис. 4), принципова схема – (рис. 5).

Рис. 4. Установка для вимірювання паропроникності текстильних матеріалів

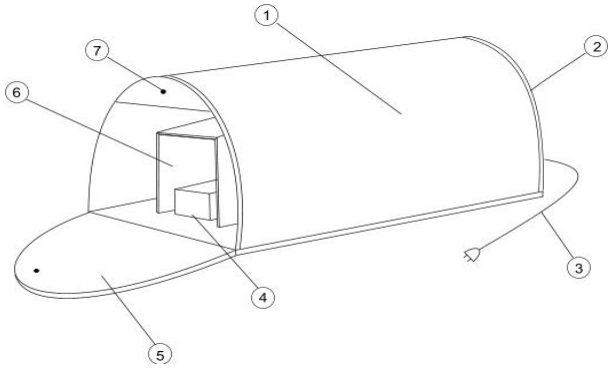


Рис. 5. Принципова схема установки для вимірювання паропроникності текстильних матеріалів

Тестування зразків проводиться в тунелі 6 (рис. 5), вміщеному в закриту камеру 1. Вхід до камери 5 фіксується затискачем 7. Температура в камері підтримується рівною (23 ±0,5) ^{o}C, температура точки роси в цих умовах дорівнює (12±1) ^{o}C (50% відносна вологість). Повітря нагнітається за допомогою вентилятора 2, розміщеного на вході до внутрішнього коробу, що живиться від постійного джерела струму 3. Швидкість повітря в тунелі дорівнює (2,8±0,25) м/с.

З тестованого матеріалу вирізується 5 круглих зразків, кожен з яких закріплюється за допомогою спеціального тримача зверху на чашці, що містить дистильовану воду.

Чашки зважуються з точністю до 0,001 г і потім поміщаються в тунель, до якого за допомогою вентилятора нагнітається повітря. Зважування зразків відбувається через певні проміжки часу.

Паропроникність розраховується за формулою:

$$WVTR = \frac{\left(\frac{G}{t}\right)}{A} = \frac{G}{t} * A, \text{ [мг/см}^2\text{·год]} \quad (1)$$

де A – площа зразка, см^2;

t – час, год;

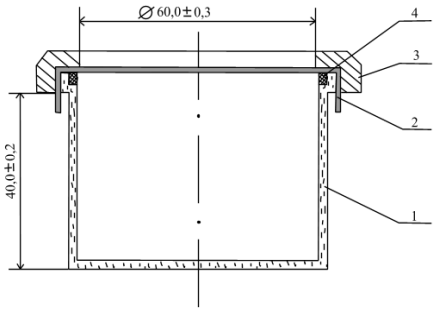


Рис. 6. Схема стаканчика: 1 – стаканчик; 2 – елементарна проба; 3 – кришка; 4 – гумова ущільнююча прокладка

G – кількість випаруваної рідини, г;

$$G = m - m_i, \text{ [г]} \quad (2)$$

де m – маса чашки з рідиною до початку тестування, г;

m_i – маса чашки через і-й проміжок часу, г.

Для побудови установки використано пластик, який не є гігроскопічним. Шви та ущелини герметично проклеєні за допомогою силіконового герметика.

Устаткування, що використовувалось:

- ваги БВЕ-1кг;
- психометр механічний «МВ-4-2м»;

- мірний стаканчик 250 мл;
- закрита камера;
- стаканчик скляний за ASTM E96.

Розмір стаканчика та форма (рис.6). Кожен стаканчик повинен мати загнуті всередину під кутом 90 ° краю, що утворюють робочий отвір і заплічок для розміщення зразка.

Діаметр робочого отвору в кришці, внутрішні діаметри отворів стаканчика – (60,0 ± 0,3) мм, висота стаканчика – (40,0± 0,2) мм.

Заготовляють елементарні проби діаметром (74,0 ± 0,5) мм. Для основи стаканчика взято баночка об'ємом 100 мг. В металевій кришці вирізаний робочий отвір з зазначеним діаметром.

З метою апробації розробленої методики, проведено дослідження зразків матеріалів та пакетів матеріалів, які були запропоновані для виготовлення куртки, на розробленій установці за ASTM E96 та за ГОСТ 22900-78 в лабораторії «Текстиль – ТЕСТ» Київського національного університету технологій та дизайну. Результати досліджень представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняння показників паропроникності

Назва зразка	Характеристика зразка	Паропроникність, (мг/см² год)	
		авторський метод	ГОСТ 22900-78
Мембрана	GORE-TEX (США) – 100% ПТФЕ (політетрафторетилен, тефлон), поверхнева щільність – 200 г/м²	6,579	9,982
Підкладка	Склад підкладки – 100% ПЕ, поверхнева щільність –50 г/м²	6,693	11,862
Мембрана + підкладка	GORE-TEX- 100% ПТФЕ +100% ПЕ	5,079	9,211
Пакет	Склад прокладкового матеріалу – 100% бавовна, поверхневою щільністю 140 г/м²	4,639	8,699

Як бачимо з даних таблиці 2, значення, отримані гостованим методом дещо відрізняються ніж значень, отриманих розробленим методом. Це можна пояснити відмінними умовами проведення дослідження. Вище було зазначено, що на паропроникність суттєвий вплив чинять температура та вологість навколишнього середовища. Для розробленого методу дослідження проводились при температурі (21± 2) ° С та вологості (50 ± 1) %, для гостованого – температура (20 ± 2) ° С та вологості (50 ±1) %. До того ж робоча поверхня зразків також відрізнялась: для розробленого – (60,0 ± 0,3) мм, для гостованого – (35,7 ± 0,3) мм.

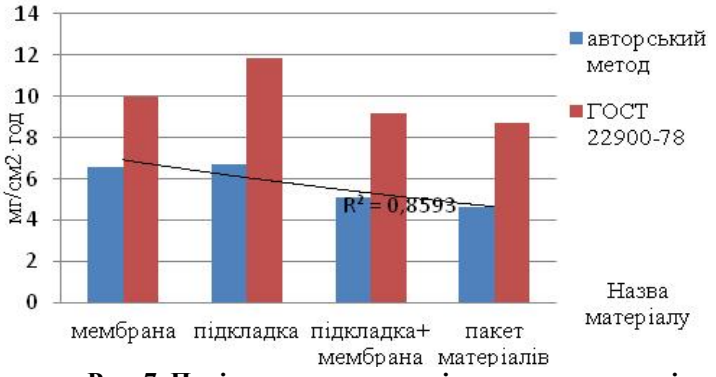


Рис. 7. Порівняння результатів паропроникності

Для встановлення відповідності отриманих результатів проведено кореляційний аналіз даних засобами умовно безкоштовного програмного забезпечення MS Office Excel (рис.7). За умови використання лінійної функції для опису процесу коефіцієнт кореляції R – 0,86, що свідчить про високий рівень відповідності отриманих результатів.

Отже, розроблений метод досить точно описує процес проходження водяного пару через поверхню текстильних матеріалів та може використовуватись для дослідження паропроникності текстильних матеріалів в тому числі мембранних тканин та пакетів на їх основі.

На нашу думку, з метою уникнення неточного трактування при порівнянні результатів отриманих іншими методами, бажано використовувати показник відносної паропроникності, який визначається як відношення кількості водяного пару, що випаровується через поверхню зразка, до кількості водяного пару, що випаровується через відкриту поверхню.

Висновки

Проведено аналіз асортименту та властивостей матеріалів для виготовлення вологозахисного спортивного одягу, на основі якого виконано обґрунтований вибір складових пакету.

Розроблено рекомендації, щодо конструктивного устрою курток з вологозахисними властивостями. Запропоновано методи забезпечення вологозахисних властивостей одягу.

На основі аналізу вітчизняних та закордонних методів визначення паропроникності, розроблено аналог установки вимірювання паропроникності, прототипом якого обрано тест з «вертикально стоячою чашкою» ASTM E96. Проведено дослідження показників паропроникності.

В результаті порівняння значень паропроникності, отриманих гостованим та альтернативним методами, встановлено високий рівень відповідності отриманих результатів. Це дає підставу вважати, що розроблений метод досить точно описує процес проходження водяного пару через поверхню текстильних матеріалів та може використовуватись для дослідження паропроникності текстильних матеріалів в тому числі мембранних тканин та пакетів на їх основі.

Література

1. Павлюковець Р. Г. Стан легкої промисловості на І квартал 2008 року / Р. Г Павлюковець // Легка промисловість. – К., 2008. – № 5. – С. 39–43.

2. Арабулі С. І. Порівняльний аналіз методів визначення паропроникності текстильних матеріалів / С. І. Арабулі // Вісник *КНУТД*. – К., 2017. – № 3(110). – 32 с.

3. ASTM E96 1995 Standard Test Methods for Water Vapour Transmission of Materials, in. ‘Annual Book

4. of ASTM Standards 4.06». American Society for Testingand Materials, West Conshohocken, PA, 1995.

5. Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения паропроницаемости ивлагопоглощения : ГОСТ 22900-78. – М. : ИПК Издательство стандартов 1998. – 8 с.

6. Костюк Г. О. Проектування вологозахисного одягу з прогнозованими показниками паропроникності : дис. … спец. 8.05160202 «Конструювання та технології швейних виробів» / Костюк Ганна Олександрівна – К., 2017. – 106 с.

7. Костромина С.В. Наиболее перспективные разработки в области производстваспециальной одежды для защиты от воды и повышенной влажности воздуха / С.В. Костромина // Грамота. — 2010. — № 3. Ч. І. – С. 15–17.

8. Позняк Н. Ю. Перспективні напрями створення вологозахисного одягу : дис. … спец. 8.05160202 «Конструювання та технології швейних виробів» / Позняк Наталія Юріївна. – К., 2017. – 91 с.

References

1. Pavliukovets R. H. Stan lehkoi promyslovosti na I kvartal 2008 roku / R. H Pavliukovets // Lehka promyslovist. – K., 2008. – 5. – S. 39–43.

2. Arabuli S. I. Porivnialnyi analiz metodiv vyznachennia paropronyknosti tekstylnykh materialiv / S. I. Arabuli // Visnyk KNUTD. – K., 2017. – 3(110). – 32 s.

3. ASTM E96 1995 Standard Test Methods for Water Vapour Transmission of Materials, in. ‘Annual Book of ASTM Standards 4.06». American Society for Testingand Materials, West Conshohocken, PA, 1995.

4. Kozha yskusstvennaia y plenochnыe materyaly. Metody opredelenyia paropronytsaemosty yvlahopohloshchenyia : HOST 22900-78. – M. : YPK Yzdatelstvo standartov 1998. – 8 s.

5. Kostiuk H. O. Proektuvannia volohozakhysnoho odiahu z prohnozovanymy pokaznykamy paropronyknosti : dys. … spets. 8.05160202 «Konstruiuvannia ta tekhnolohii shveinykh vyrobiv» / Kostiuk Hanna Oleksandrivna. – K., 2017. – 106 s.

6. Kostromyna S.V. Naybolee perspektyvne razrabotky v oblasty proyzvodstvaspetsyalnoi odezhdy dlia zashchyty ot vody y povyshennoi vlazhnosty vozdukha / S.V. Kostromyna // Hramota. — 2010. — 3. Ch. I. – S. 15–17.

7. Pozniak N. Yu. Perspektyvni napriamy stvorennia volohozakhysnoho odiahu : dys. … spets. 8.05160202 «Konstruiuvannia ta tekhnolohii shveinykh vyrobiv» / Pozniak Nataliia Yuriivna. – K., 2017. – 91 s.

Рецензія/Peer review : 14.12.2017 р. Надрукована/Printed :20.01.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Березненко С. М.

УДК 74.01/.09

О.С. ВАСИЛЬЄВА, О. М. ВОЛОВОДЮК, В.О. МУСІЄНКО, І.В. ВАСИЛЬЄВА
Київський національний університет технологій та дизайну

УКРАЇНСЬКА НАРОДНА ВИШИВКА ЯК ЕЛЕМЕНТ ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ СУЧАСНИХ КОЛЕКЦІЙ ОДЯГУ

В роботі представлено результати дослідження особливостей народної вишивки, її види, народні назви та орнаментальні мотиви візерунків вишивки та місця їх розташування. Встановлено та згруповано основні характерні символи орнаментів, які використовуються в оздобленні одягу різного функціонального призначення. Отримані результати дозволяють виділити національні особливості певного виду одягу, які вносять оригінальну новизну в процес дизайн-проектування сучасних моделей одягу. Запропоновано рекомендації використання орнаментів і традиційних кольорів при розробці сучасних моделей одягу для ефективного розкриття особливостей українського національного колориту під час проектування одягу.

Ключові слова: народна вишивка, колірна гама, типи орнаментів, семантика, проектування сучасного одягу, проектування.

O.S. VASYLIEVA, O.M. VOLOVODIUK, V.O. MUSIIENKO, I.V. VASYLIEVA
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

UKRAINIAN FOLK EMBROIDERY AS ELEMENT DESIGN-PLANNING of MODERN COLLECTIONS of CLOTHING

The results of research on the features of folk embroidery, its types, names and causes of patterns of embroidery and the place of their location, are in process presented. The main elements of embroidery, color gamma, arrangement of embroidery arrangement on clothes are explored. The basic types of Ukrainian embroidery and their constituent elements are determined. Among the characteristic motifs of ornaments used in the decoration of folk clothes and household items are four main types, namely: geometric (abstract), vegetable decorative pattern, zoomorphic, anthropomorphic. The basic characteristic symbols of the decorative patterns are certain. The obtained results allow to distinguish national features of certain type of clothing, which bring an original novelty in the process design-planning of modern clothing models. Recommendations of the use of decorative patterns and traditional colors are offered at the development of modern clothing models for the effective opening of features of the Ukrainian national color in the design of clothing. Based on studies it was certain that under the territory of Ukraine embroidery occupies a leading place in the finishing of national clothing, carries the symbolic value of talisman and has characteristic features in the color gamut, technique of execution and composition receptions. According to the ethnographic features of embroidery, there are many regional differences. On the basis of analysis of literary sources, a classification of regional features of embroidery on shirts of different regions was developed. Folk embroidery occupies a special place in human life and is an example of the spiritual and artistic culture of our people. For each region of Ukraine, peculiar and characteristic ornaments differ from each other, both as a technique of execution and a color scale. Using folk embroidery of different elements and traditional colors allows you to create patterns of clothing patterns that remain beyond the influence of fashion and time. In the process of research of features of folk embroidery considerable attention is spared to possibility of the use of traditional colour gamut at forming of elements of decorative pattern Modern understanding of the meaning of the symbols of the ornament and the traditional color scheme used in folk embroidery creates an effective basis for the creation of collections of fashionable clothing.

Keywords: folk embroidery, colour gamut, types of decorative patterns, planning of modern clothing, design.

Вступ

Напрямки розвитку сучасної моди неможливі без використання спадщини багатих народних традицій, які передавались із покоління в покоління. Одним з таких напрямів є вишивка. Народна вишивка займає особливе місце в житті людини і є зразком духовно-художньої культури нашого народу. Для кожного регіону України властиві та характерні орнаменти, які відрізняються між собою, як технікою виконання так і кольоровою гамою. Використання в народній вишивці різних елементів і традиційних кольорів дозволяє створити зразки моделей одягу, які залишаються поза впливу моди і часу. Українська вишивка своїм корінням сягає до неоліту та енеоліту. Майстерність, орнаменти, кольорова гама та техніки вишивки передавалися від покоління до покоління, та зберігалися як частина культури характерної для певної території та регіону України. Вишивка зустрічала людину при народженні, супроводжувала все життя до самої смерті. До кінця IX початку XX століть вишивка зберігала свою автентичність у кольоровій гаммі та не розглядалась в критерії декоративної обробки одягу, вона слугувала певним кодом та оберегом, була носієм інформації. Традиційні народні елементи часто використовуються в дизайні одягу. Використання елементів народної вишивки під час розробки нових моделей завжди буде модним та актуальним трендом в дизайні одягу, це створює безмежні можливості для дизайнерів і дозволяє розвивати та збагачувати національні традиції в сучасній культурі. З початку XX століття особливо під впливом прогресу та розвитку промисловості змінилося значення української традиційної вишивки, її символізм та традиційна кольорова гамма у багатьох регіонах України. Тому існує необхідність дослідження та зберігання надбань української народної вишивки та символіки, визначення символів та їх систематизація. Для виконання поставленого завдання потрібно дослідити символіку традиційної української народної вишивки та традиційну кольорову гамму, визначити основні принципи розташування елементів орнаменту на одязі, для визначити принципи утворення орнаментальних композицій в національній українській традиції.

Експериментальна частина

Українська вишивка – класичний вид українського народного мистецтва, що розкриває невичерпне багатство творчих сил народу, вершини його мистецького хисту [1–3]. З часу створення і дотепер вишивка відіграє велику роль в дизайні сучасного одягу та аксесуарів. Перші публікації, що свідчать про науковий

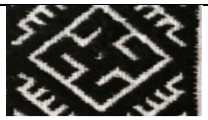
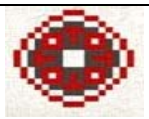
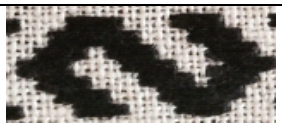
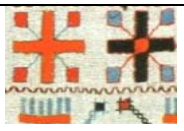
інтерес до найпоширенішого виду декоративно-ужиткового мистецтва – вишивки, зустрічаємо у виданнях середини XIX ст. Серед них були представники української передової інтелігенції [4] Володимир Шухевич, Федір Вовк, Григорій Купчанко, Олена Пчілка, Юрій Жаткович та.інші. Багато дослідників, вивчаючи особливості орнаментів на вишивках, поділяють думку, що основна функція орнаменту – естетично-магічна [4]. Вишита сорочка вважалась оберегом для людини. Стосовно розташування елементів орнаменту то згідно з дослідженнями професора Б. Рибакова [5] жіночий український національний одяг в цілому являв собою своєрідну модель всесвіту. Так, головний убір ототожнювався з ідеєю неба. Навіть назви його були «пташині» – кокошник (кокош – півень), кика, кичка (качка), сорока. На ньому зображались птахи, солярні знаки. Ідею світобудови продовжувала вишивка, що розташовувалась біля шиї, рук, ніг, тобто на комірі, кінцях рукава, подолі (з метою охорони прорізів-отворів), а також на верхній частині рукава, в місцях біцепса - як знак охорони працездатності. Мотиви орнаменту на подолі жіночого вбрання – це ідеограми землі, проростого зерна, води. У вишивку верхньої частини одягу додаються рослинні мотиви, що символізують ідею родючості. В сорочці орнамент розташовується там, де відкривається доступ до тіла, а саме − в низах рукавів, на горловині або комірі, на подолі. Також часто прикрашаються вишивкою погрудки, щоб захистити душу від зла. Найчастіше в українській вишивці використовувався геометричний орнамент, що складається з різних ромбів: великих і маленьких, правильної форми або з фігурними вставками [5].

Багатство і різноманітність геометричних елементів в українській вишивці – це зображення тварин, птахів, рослин, людей із ромбоподібними тулубами, хрестоподібними головами просто зачаровує. Все це має певний символічний зміст, але в період кінця XIX на початку XX століть вишивка починає втрачати свій зміст та набуває більш декоративного характеру. З'являються натуралістичні орнаменти (рис. 1) (брокаровський візерунок та т.і.).

Рис. 1. Брокарівська вишивка

Таблиця 1

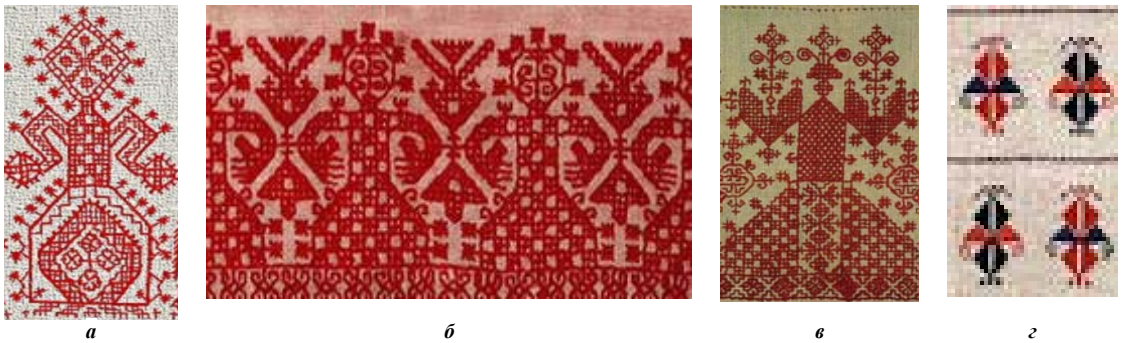
Основні елементи орнаментів української вишивки

Геометричний орнамент				
Ромб	Спіраль	 Сварги	 Коло	Трикутник, шеврони
Восьмикутна зірка	 S мотиви.	Криниця	 Хрест	Безкінечник
Рослинні орнаменти				
Дерева та кущі	Квіти та чародійні рослини			В'юнки

Композиційне вирішення української вишивки відзначається безмежною фантазією, колоритом. Серед характерних мотивів орнаментів, що використовують в оздобленні народного одягу та предметів побуту розрізняють чотири основних типи табл. 1, а саме: геометричні (абстрактні), рослинні, зооморфні, антропоморфні.

Геометричні орнаменти властиві для всієї прадавньої слов'янської міфології [6]. Вони дуже прості: кружечки, трикутники, ромби, зигзаги, лінії, хрести. З первинним віруванням у потойбічні сили наші пращури вишивали примітивні геометричні позначення: пряма горизонтальна лінія – символ землі, хвиляста – води, хрест – вогню та сонця. Згодом символи та їх значення ускладнювались. Геометричні орнаменти були домінуючими для вишивок, особливо на одязі.

Антропоморфні орнаменти існували з прадавніх часів. Сам по собі антропоморфний орнамент не можна розглядати винятково як зображальний мотив [5, 9], не врахувавши зв'язок з матеріалом і технологією виконання. Характер зображення і питання інтерпретації залежать від технологічних прийомів, використаних для створення зображення, та призначення. Антропоморфні елементи української народної вишивки існують в трьох видах: ідентифіковані (легко розпізнаються), схематичні та умовні (антропоморфне значення можна здогадуватися з контексту). Також їх можна розділити на чоловічі та жіночі Жіночі силуети у вишивці несуть символіку родючості, продовження життя. Зустрічаються символи із піднятими догори руками – це ритуальний жест Оранти, яким молять про врожай, життя. Інший символ – жіноча фігурка з опущеними додолу руками (або як варіант – складеними на животі) – символ захисту урожаю, знак Рожаниці, що благословляє на врожай, дає його. Перший варіант актуальний для землеробів у першій половині року, коли просять урожаю, другий – у другій, коли його збирають у прямих і символічних значеннях.



а *б* *в* *г*

Рис. 2. Антропоморфні орнаменти а, б) «рожаница»; в) «Берегиня»; г) геометричне зображення людини

Рослинний орнамент теж існував, але хоча вишитий рослинним орнаментом одяг відомий за археологічними даними ще з давньоруської доби, переважати саме в народних вишивках рослинні орнаменти почали тільки з XIX ст.. Це зауважував у своїй статті "Отличительные черты южно-русской народной орнаментики" Хведір Вовк [8] наприкінці XIX століття, що вже на його час рослинні орнаменти були або сильно геометризовані або похідними від геометричних, постають характерними рисами орнаменту українських вишивок. Особливий розвиток рослинних мотивів орнаментів набув саме наприкінці XIX століття на початку XX. Рослинні орнаменти можна виділити в декілька груп: в'юнкі, дерева, кущі, квіти, чародійні рослини.

Зооморфні орнаменти в більшості це символічні зображення тварин. В українській вишивці поширені зображення птахів. Найдавніші зразки демонструють також символічні, прості зображення пташок, що не передають якихось видових ознак, але також існують елементи вишивки що відображають певні символи, наприклад орел, пава, голуб, жайворонок та т.п. Також розрізнялися і орнаменти з мотивами свійських та диких тварин кінь, бик, олень, вовк.

Таблиця 2

Класифікація особливостей сорочкової вишивки різних регіонів України

Назва регіону	Колір вишивки	Види орнаменту
Полісся.	Білий, червоний, чорний	Геометричний або рослинний
Волинь	Білий, червоний, сірий, чорний	Геометричний або рослинний
Поділля	Червоний, чорний	Геометричний
Харківська обл.	Червоний, чорний, жовтий, зелений	Геометричний
Київська обл.	Білий, червоний, чорний	Рослинно-геометричний
Тернопільська обл.	Чорний , червоний, жовтий	Геометричний, рослинно-геометричний
Волинь	Червоний	Геометричний
Вінницька обл.	Чорний, білий (кольорові мережки)	Рослинний, геометричний
Львівська обл.	Червоний, чорний, синій, зелений	Геометричний
Поділля	Чорний з вкрапленням червоного, синього, жовтого або зеленого	Рослинний, геометричний
Буковина	Червоний сполучений з різними кольорами	Геометричний, рослинний та зооморфний
Гуцульщина	Червоний, жовтий, зелений	Геометричний та рослинний
Закарпаття	Червоний, чорний, білий	Геометричний, рослинний та зооморфний
Слобожанщина	Білий , червоний, чорний	Геометричний та рослинний

В українському народному побуті матеріали для вишивання використовували конопляні і льняні нитки власного домашнього виробництва, пізніше стали застосовувати промислові фарбовані бавовняні, шовкові і вовняні нитки. Це доповнило кольорову гамму народної вишивки. Техніки вишивки вражали своїм різноманіттям і витонченістю. В Україні налічується близько 100 видів і технічних прийомів

вишивання (гладь, хрестик, низь, мереження, бігунець, плетіння та багато інших) [8–12].

Відповідно до етнографічних особливостей вишивки виявляють чимало регіональних відмінностей. На основі аналізу літературних джерел було розроблено класифікацію регіональних особливостей вишивки на сорочках різних регіонів (областей) (табл. 2). Проведені дослідження дають змогу визначити основні принципи створення української народної вишивки її елементів та визначення кольорової гами при створенні колекцій модного одягу. При розробці сучасних колекцій одягу в українському етностилі слід враховувати загальну структуру національного українського одягу та розташування на ньому декору, структуру вишивки, кольорову гаму та основні елементи та символи з яких складається загальна композиція національного костюму.

Висновки. На основі проведених досліджень було визначено, що на всій території України вишивка займає провідне місце в оздобленні національного одягу, носить символічне значення оберегу та має характерні особливості у колірній гаммі, техніці виконання та композиційних прийомах. Детальна увага в даному дослідженні приділена характерним особливостям орнаментів, їх семантиці, поєднанню кольорів. В процесі дослідження особливостей народної вишивки значна увага приділена можливості використання традиційної колірної гами при формуванні елементів орнаменту Сучасне розуміння змісту символів орнаменту та традиційної колірної гами, які використовуються в народній вишивці, створюють ефективну базу для створення колекцій модного одягу в етностилі.

Література

1. Гурська А. С. Мова та граматика українського орнаменту / Гурська А. С. – К. : Альтернативи, 2003. – С. 41–43.

2. Кара-Васильєва Т.В. Українська вишивка / Кара-Васильєва Т.В. – К. : Мистецтво, 1993. – 263 с.

3. Ніколаєва Т.А. Історія українського костюма / Ніколаєва Т.А. – К. : «Либідь», 1996. – 176 с.

4. Куксюк А.А. Аналіз та класифікація художньо-конструктивних елементів автентичних зразків українських жіночих вишитих сорочок / А.А. Куксюк А.А., І.В. Васильєва // Вісник КНУТД. Серія "Технічні науки". – 2015. – № 3(86). – С. 263–271.

5. Антропоморфні мотиви в традиційному мистецтві України від давнини до сучасності / О.В. Коновалова //.Народна творчість та етнологія / НАН України ІМФЕ ім. М. Рильського. – 2008. – № 2. – С. 165–170.

6. Как читать узоры украинской вышивки [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://vogue.ua/article/fashion/tendencii/kak-chitat-uzory-s-ukrainskoy-vyshivki.html

7. Символи та знакові системи орнаментів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.skarby.org.ua/simvoli-ta-znakovi-sistemi-ornamentiv/

8. Причепій Є. Вишивка Східного Поділля / Є. Причепій, Т. Причепій. – К. : "Родовід",2009. – 108 с.

9. Нікішенко Ю.І. Символіка рослинних орнаментів української вишивки на одязі початку XX ст. / Ю.І. Нікіщенко // Наукові записки. Том 19. Теорія та історія культури / Національний університет "Києво-Могилянська академія". – 2001. – С. 30–35.

10. Білецька В. Українські сорочки, їх типи, еволюція й орнаментація / В. Білецька // Матеріали до етнології й антропології. – Л., 1929. – Т. XXI-XXII. – Ч. І. – С. 43–109.

11. Васильєва І.В. Розробка підходу до дизайн-проектування суконь-оберегів на основі народної символіки українців / І.В. Васильєва, Є.П. Гула, О.С. Васильєва // Вісник Хмельницького національного університету. Серія "Технічні науки". – 2016. – № 6. – С. 89–93.

12. Українська вишита сорочка [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://vishivanka.org/ukrainska-vishita-sorochka.html

References

1. Hurska A. S. Mova ta hramatyka ukrainskoho ornamentu. – K. : Alternatyvy, 2003. – S. 41-43.

2. Kara-Vasylieva T.V. Ukrainska vyshyvka. – K. : Mystetstvo, 1993. – 263 s.

3. Nikolaieva T.A. Istoriia ukrainskoho kostiuma. – Kyiv: «Lybid», 1996. – 176s.

4. Kuksiuk A.A. Analiz ta klasyfikatsiia khudozhno-konstruktyvnykh elementiv avtentychnykh zrazkiv ukrainskykh zhinochykh vyshytykh sorochok / A.A. Kuksiuk A.A., I.V. Vasylieva // Visnyk KNUTD. Seriia "Tekhnichni nauky" № 3(86) 2015.– S. 263-271.

5. Antropomorfni motyvy v tradytsiinomu mystetstvi Ukrainy vid davnyny do suchasnosti / O.V Konovalova //.Narodna tvorchist ta etnolohiia/NAN Ukrainy IMFE im.M. Rylskoho №2 2008. – S. 165-170

6. Kak chytat uzory ukraynskoi vyshyvky. URL: https://vogue.ua/article/fashion/tendencii/kak-chitat-uzory-s-ukrainskoy-vyshivki.html

7. Symvoly ta znakovi systemy ornamentiv. URL: http://www.skarby.org.ua/simvoli-ta-znakovi-sistemi-ornamentiv/

8. Prychepii Ie. «Vyshyvka Skhidnoho Podillia» / Ie. Prychepii, T. Prychepii - K.: "Rodovid",2009.- 108 s.

9. Nikishenko Iu.I. Symvolika roslynnykh ornamentiv ukrainskoi vyshyvky na odiazi pochatku XX st / Iu.I Nikishchenko // Naukovi zapysky. Tom 19, Teoriia ta istoriia kultury / Natsionalnyi universytet "Kyievo-Mohylianska akademiia". 2001. S. 30-35.

10. Biletska V. Ukrainski sorochky, yikh typy, evoliutsiia i ornamentatsiia // Materialy do etnolohii i antropolohii. – L., 1929. – T. XXI-XXII. – Ch. I. – S. 43-109.

11. Vasylieva I.V. Rozrobka pidkhodu do dyzain-proektuvannia sukon-oberehiv na osnovi narodnoi symvoliky ukraintsiv / Vasylieva I.V., Hula Ie.P., Vasylieva O.S. // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2016. – № 6. – S. 89-93.

12. Ukrainska vyshyta sorochka. URL: http://vishivanka.org/ukrainska-vishita-sorochka.html

Рецензія/Peer review : 20.11.2017 р. Надрукована/Printed :07.02.2018 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК 687.01:687.24+746

І.О. ПРИХОДЬКО-КОНОНЕНКО, О.І. СТОРОЖУК, О.О. СЛІТЮК, К.М. ПЕТРОВА
Київський національний університет технологій та дизайну

ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ АВТОРСЬКОЇ КОЛЕКЦІЇ ЖІНОЧОЇ БІЛИЗНИ

Мета. Дизайн-проектування моделей авторської колекції жіночої білизни святкового призначення за мотивами історичного костюма 20–30-х років ХХ ст. та творчої трансформації джерела натхнення. Розробка композиційно-гармонійних і конструктивно-технологічних рішень виробів колекції «Floral». Методика. Для досягнення поставленої мети та вирішення завдань застосовано системно-структурний, морфологічний аналіз, композиційно-конструктивний метод дослідження. Графічні матеріали виконано з використанням комп'ютерних програм Adobe Photoshop, Xara X. Результати. Виокремлено характерні ознаки білизняних виробів для різних стильових рішень. На основі структурного аналізу творчого джерела обґрунтовано застосування в моделях колекції мережива з рослинним візерунком, матеріалів з блискучою і гладкою поверхнею визначеної кольорової гами, оздоблення тощо. Наукова новизна. На основі теоретичних досліджень узагальнено і систематизовано спільні елементи моделей колекції за різними ознаками. Практична значимість. Обґрунтовано структуру взаємно підпорядкованих виробів та їх елементів, запропоновано матрицю різновидів моделей авторської колекції. Розроблено художньо-проектні рішення естетично виразних моделей, виготовлено колекцію жіночої білизни за мотивами історичного костюма 20–30-х років ХХ ст., впроваджено елементи творчого джерела.

Ключові слова: жіноча натільна білизна, колекція, дизайн-проектування.

I.O. PRICHODKO-KONONENKO, O.I. STOROZHUK, O.O. SLITIUK, K.M. PETROVA
Kyiv National University of Technology and Design

DESIGN OF AUTHOR'S COLLECTION OF WOMEN'S LINGERIE

Objective: Design of the models of the author's collection of women's lingerie for festive events based on the historical costume of 20's-30's of XX century and creative transformation of the source of inspiration. Development of structural and harmonious, design and technological solutions of the articles of "Floral" collection. Methods. The system and structural, morphological analysis, compositional and constructive method of research have been applied to achieve the set goal and solve the tasks. Graphic materials have been developed using the computer software, namely Adobe Photoshop, Xara X. Results. Characteristic features of lingerie articles for different stylistic solutions have been singled out. Based on the structural analysis of the creative source, application of lace with a floral pattern, materials with a shiny and smooth surface of a certain colour palette, decorations, etc., in the collection models has been substantiated. Scientific novelty. Based on the theoretical studies, the common elements of the collection models have been summarized and systematized by various characteristics. The research of a chosen topic gave opportunity for improvement of the new approach to the definition of design features of costume in the artistic design, which based on progressive analysis of all types of information (text, illustrative, video). Practical significance. The structure of mutually subordinated articles and their elements has been substantiated; the matrix of varieties of models of the author's collection has been suggested. The artistic and design solutions of aesthetically expressive models have been developed, a collection of women's lingerie has been designed based on the historical costume of 20's-30's of XX century, elements of the creative source have been implemented.

Key words: women's underwear, collection, design.

Вступ

Останнім часом кількість виробників, що займаються дизайн-проектуванням і виготовленням жіночої білизни в Україні стрімко зростає, що можна спостерігати, здебільшого, в соціальних мережах Instagram, Facebook та Pinterest. Проте, відсутність досвіду та інформаційної, методологічної бази не дозволяють зайняти конкурентні позиції на вітчизняному ринку виготовлення білизни. Перші позиції займають однотипні вироби з Китаю, які не несуть собою художньої та естетичної виразності, до того ж, не поступаються у ціні українським handmade виробам.

Постановка проблеми

На сьогоднішній день білизна має не тільки функціональне призначення, а й естетичну складову, дозволяє підкреслити переваги жіночої фігури, а також зорово корегує її недоліки [1].

Нажаль інформаційна база для дизайн-проектування і виготовлення жіночої білизни обмежена, та не відображає всього процесу. Дизайн-проектування колекцій натільної білизни є актуальним і, водночас, складним процесом, що потребує аналізу багатьох аспектів життя сучасної жінки. Розробці композиційно-гармонійних образів колекції передує вибір творчого джерела, стилістичного рішення, матеріалів, кольорової гами, оздоблення з урахуванням сучасних тенденцій. Тому, актуальною є розробка авторської колекції жіночої білизни святкового призначення за мотивами історичного костюма 20–30-х років ХХ ст., адже сучасна жінка в стрімкому русі життя бажає відчувати себе комфортно і виглядати при цьому неперевершено, особливо в святкових подіях.

Результати дослідження

Передумовою створення колекції є вибір цільової аудиторії, яку представляють молоді жінки віком від 18 до 29 років, що слідкують за модними тенденціями та ретельно підбирають одяг, особливо святкового призначення.

Одним з найважливіших етапів дизайн-проектування сучасної колекції є аналіз перспективних модних тенденцій та їх вплив на даний продукт фешн-індустрії. Ринок натільної білизни сьогодні – це самостійна і незалежна ланка фешн-індустрії, що прогнозується, враховуючи загальні тенденції моди. Серед найвідоміших брендів, які представили свої колекції в сезоні весна–літо 2017, варто відмітити Victoria's

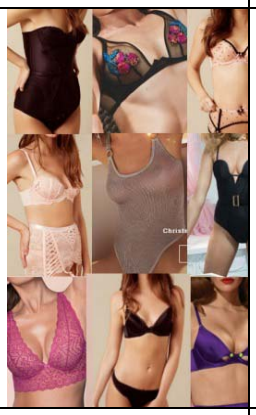
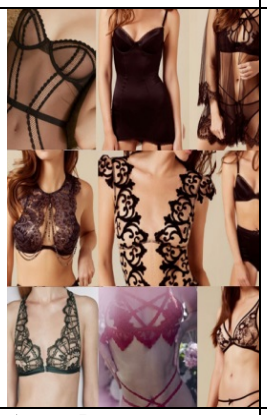
secret (США), Agent Provocateur (Великобританія), La Perla (Італія), I.D. Sarrieri (Румунія), Damaris (Франція), Aubade (Франція), Lejaby (Франція), Triumph (Німеччина), Fantasy (Великобританія), Calvin Klein (США), Pleasurements (Нідерланди), Le Mystere (США), Wonderbra (Німеччина), Frankly Darling (Великобританія) та інші.

Дослідивши модні тенденції сезону весна-літо 2017, можна стверджувати про актуальність зовнішніх форм, особливостей крою, кольорових рішень і поєднань, матеріалів, технік декоративного оздоблення тощо. Виявлено, що поєднання комфортності та жіночої витонченості – це основна ідея, яку дизайнери втілили в життя у цьому сезоні. Комфортність виражається у використанні легких, тонких матеріалах, що забезпечують високі гігієнічні характеристики, з гладкою фактурою – шовк, стрейч-атлас, мікрофібру, сітку, тюль, оксамит, гіпюр, а також витончене еластичне мереживо. Наприклад, французьке мереживо «шантильї» присутнє майже в усіх колекціях сезону, його використовують як основний матеріал в колекціях La Perla, Intimissimi, Gooseberry Intimates, Agent Provocateur та інших. В колекціях брендів I.D. Sarrieri, Damaris, Calvin Klein, Frankly Darling, Ravage виконують вставки, поєднуючи з атласом, шовком, оксамитом, сіткою, мікрофіброю та, навіть, з костюмними тканинами, як в колекціях Oysho. Тонке мереживо використовують в форматі принта, а також для декорування краю виробу. Фактурне мереживо використовується для формування верхньої частини виробу, в колекціях La Perla декороване додатковою вишивкою контрастних кольорів.

В сезоні весна–літо 2017 року використано основний матеріал із вишивкою на основі квіткових, рослинних мотивів і орнаментів. Все частіше застосовують накладки-оздоблення у формі флористичних, анімалістичних, фантазійних мотивів, що можна спостерігати серед моделей колекцій Agent Provocateur, Forloveandlemons, La Perla та інших. Використання ручної вишивки є невід'ємним трендом люксових колекцій. Вишивку виконано бісером, нитками, паєтками, стеклярусом, штучним або натуральним камінням. Так, наприклад, різні її варіації представлено в колекції La Perla.

Таблиця 1

Характеристика виробів жіночої білизни за різними ознаками для визначнних стильових рішень

Найменування ознаки	Характеристика виробів жіночої білизни для різних стильових рішень			
	Романтичний	Стиль 70-х	Аристократизм	Спортивний
Матеріали	Мереживо, гіпюр, шовк, сітка, тюль, атлас, оксамит.	Сітка, тюль, гіпюр, капрон, мікромодал	Мереживо, шовк, атлас, сітка, тюль, дамаст, оксамит.	Мікрофібра, біфлекс, мікромодал, трикотаж, спандекс.
Конструктивно-декоративні елементи	Рюші, шлярки, рельєфи, защипи	Рельєфи, защипи	Рюші, рельєфи, защипи	Рельєфи
Оздоблення	Накладки-аплікації, декоративні еластичні тасьма, канти, тасьма, вишивка нитками, бісером, паєтками, принти	Декоративні канти, еластична тасьма	Нашивки-патчі, аплікації, вишивка нитками, бісером, паєтками, стрази, декоративні канти, тасьма, принти	Принти, фурнітура, декоративні еластична тасьма
Приклади				
Бренди	Victoria's secret, Aubade , Lejaby, Forloveandlemons, Gooseberry Intimates, Oysho, Intimissimi	Wonderbra, Agent Provocateur, Pleasurements, Triumph.	Agent Provocateur , La Perla, I.D. Sarrieri, Guia La Bruna, Pleasurements, Frankly Darling, Le Mystere	Calvin Klein, Tommy Hilfiger, Intimissimi, Oysho

Відійшов в минуле тренд на яскраві колірні рішення та тваринні принти. Актуальною залишається пастельна колірна гама, відтінки слонової кості, природні пісочні та молочні кольори, що притаманні моделям колекцій Intimissimi та Gooseberry Intimates.

Нами проаналізовано та виокремлено характерні ознаки білизняних виробів для різних стильових рішень. Основні модні тенденції 2017 року в дизайн-проектуванні та виготовлені нижньої білизни подано у табл.1.

В результаті аналізу композиції натільної білизни 20–30-х років ХХ ст. виділено такі характерні ознаки як, бюстгальтери з м'якою чашкою, труси з завищеною талією, еластичні пояси для панчіх, сукні з глибокими декольте, вишивка бісером та паєтками, прилеглий силует, гладкі та щільні фактури, пастельна кольорова гамма – відтінки сірого, пісочного, молочного у поєднанні з чорним. Проаналізувавши зібрані матеріали визначено, що сучасним тенденціям притаманні риси історичного одягу 20–30-х років ХХ ст., а саме матеріал, силует, кольори, оздоблення.

Розробка концепції колекції передбачає проведення системно-структурного аналізу творчого джерела. Виокремлені ознаки аналізують і творчо трансформують, створюючи нові образи. Моделі колекції одягу можна розробляти у напрямі пошуку форми, фактури, структури, пропорцій, кольору тощо, що містять новизну [2].

Передумовою для розробки моделей колекції жіночої білизни є створення планшету ідей або дошки настрою (moodboards) з метою виділення характерних ознак творчого джерела. При створенні колажу використано фотографії жінок минулого століття та цвітіння магнолій, що стало джерелом натхнення. Творчий колаж зображено на рисунку 1.

Авторська колекція жіночої білизни святкового призначення розроблена за мотивами історичного костюма 20–30-х років ХХ ст. та на підставі переосмислення творчого джерела. Колекцію спроектовано з використанням трансформації вже існуючих форм натільної білизни минулого століття задля створення нових. Ергономічність, естетичність та художня довершеність є основними вимогами, які висунуто до жіночої білизни.

Рис. 1. Творчий колаж для розробки колекції жіночої білизни «Floral»

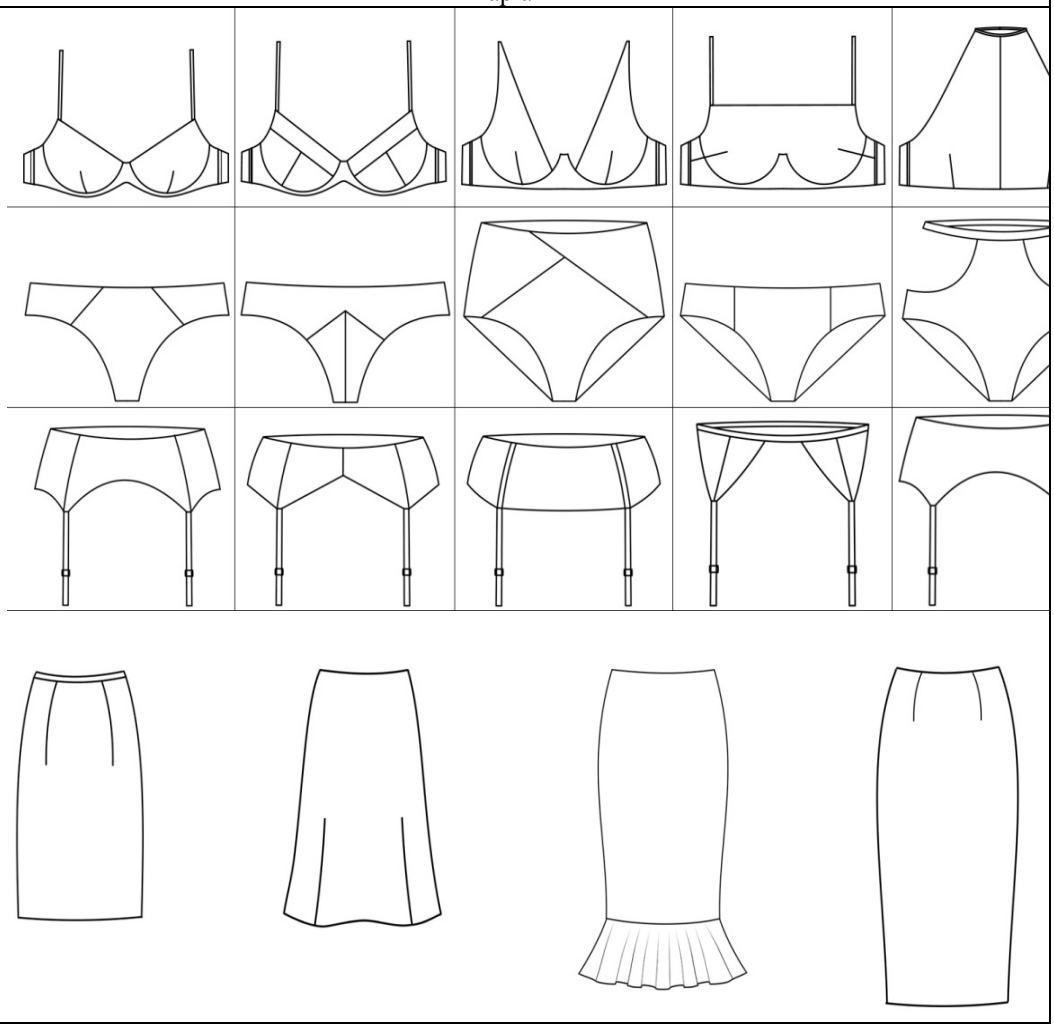
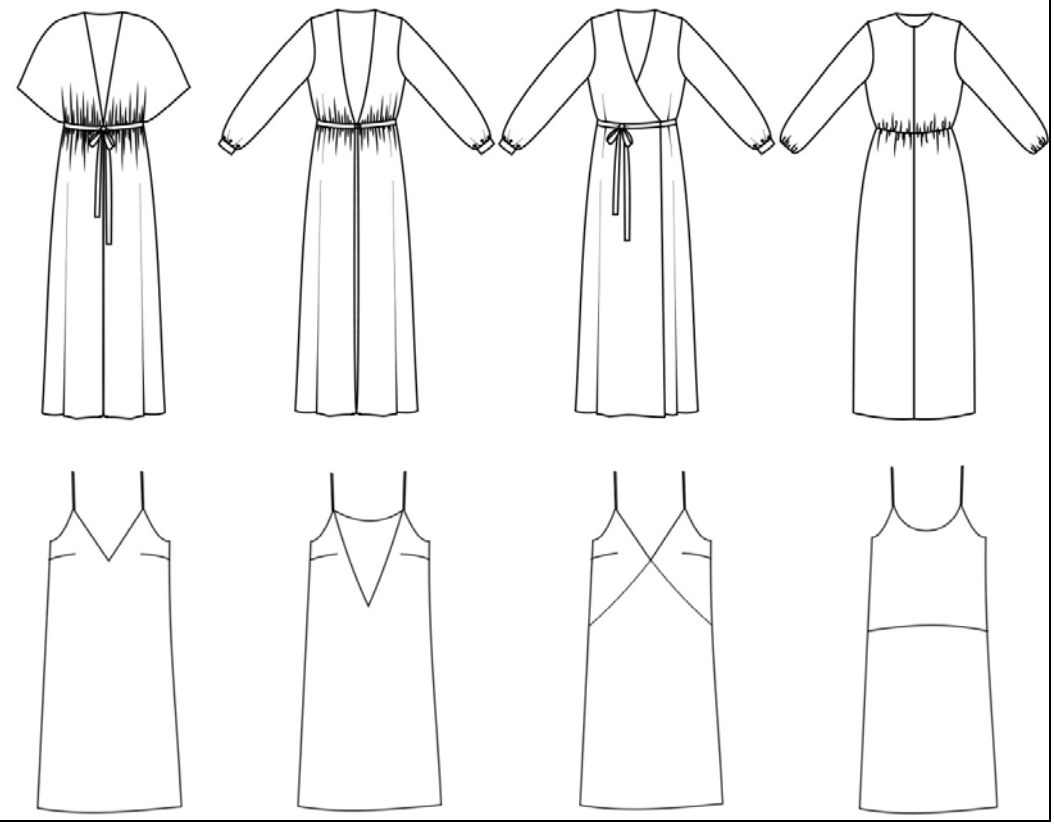
При розробці моделей колекції враховано ергономічні показники, анатомічні особливості жіночої фігури, розроблений одяг є зручним та функціональним [3]. До даної колекції належать такі швейні вироби, як бюстгальтер, топ, труси (сліпи та з завищеною талією), пояс для панчіх, нижня спідниця, комбінація, сукня та халат.

При формоутворенні одягу велике значення надано формам і лініям виробів, які підіймають та візуально збільшують форму грудних залоз, затягують талію, забезпечують характерний плавний перехід від торса до стегон. В конструкціях суконь закладені прибавки на вільне облягання, що забезпечують зручність та універсальність розмірів. Специфіка конструкції нижньої білизни базується на виборі матеріалу, визначенні його еластичних властивостей та ступені прилягання з метою виключення дефектів. Конструкції білизняних виробів виконано без прибавок на вільне облягання з урахуванням показників матеріалів з вмістом еластану для створення ефекту «другої шкіри» [4].

Нами розроблено матрицю варіантів моделей колекції з метою забезпечення гармонійного конструктивного рішення (табл. 2).

Таблиця 2

Матриця різновидів моделей виробів колекції

Вид виробу	Варіанти
Корсетні вироби (бюстгальтер, топ) Поясні вироби (труси сліпи, стрінги, труси з завищеною талією, пояс для панчіх, нижня спідниця)	
Плечові вироби (сукня, халат, комбінація)	

Аналізуючи цвіт магнолій, як творче джерело, виділено такі ознаки як колір, форма, фактура, ритмічна організація, симетричність, пропорції, членування, структура. Великою є кількість варіантів кольорових відтінків цієї квітки від білого до рожевого. Ніжні лимонні, блідо-, яскраво-рожеві та пастельні відтінки, їх поєднання в одне ціле – невичерпне джерело натхнення для дизайнера-колориста. Для створення колекції обрано пастельну тональну гаму, а основу колекції становлять молочні та блідо-рожеві відтінки. Незначний вміст чорного кольору в деяких моделях символізує середину квітки, що є нюансом колекції. Гладку фактуру передано за рахунок еластичних, м'яких, приємних на дотик матеріалів, адже квітка магнолії символізує ніжність. Незначну рельєфність пелюсток відтворено у ніжному мереживі лимонного кольору, що ніби передає лимонний запах квітки. Ритмічність творчого джерела відображено обґрунтованим вибором мережива з флористичними мотивами, що стало основним матеріалом для виготовлення топів. Для бюстгальтера використано мереживо з рослинною вишивкою і її хаотичним розміщенням, що нагадує гілки магнолій. Блідо-рожевий стрейчевий атлас за рахунок блиску придає виробам об'ємності, переливаючись на світлі.

Виготовлення натільної білизни потребує використання натуральних тканин або таких, які будуть підтримувати комфортний мікроклімат. Розглянуто асортимент матеріалів, які використовуються для виготовлення білизни, відзначено відмінності в гігієнічних показниках та подібність у зовнішньому вигляді тканин. Для виготовлення моделей колекції використано шифон блідо-сірого кольору, сітка вершкового, блідо-рожевого та айворі відтінків, атлас чорного та рожевого кольорів, мереживо білого, лимонного та чорного кольорів, мікрофібра білого кольору. Для натільної білизни білого кольору використано мікрофібру, у складі якої міститься особливий вид еластану, що унеможливлює пожовтіння виробів. Наприклад, компанія Asahi розробила еластан Roica FW, який не жовтіє і не сіріє, має підвищену стійкість виробу до прання [5].

Для виготовлення композиційно-гармонійних моделей колекції використано фурнітуру – кісточки для чашок, пластиковий «китовий вус», регулятори, застібки, фіксатори для панчіх, гачки, ґудзики.

Металевий «китовий вус» для корсета забезпечує максимальне затягування, але створює дискомфортні відчуття. Сьогодні існує альтернатива металевому «китовому вусі» – пластиковий різної ширини і товщини. Для кращої затяжки виробу використовують ширші та товщі кості. Перевагами є його легкість і низька ціна у порівнянні з металевими. Пластиковий «китовий вус» не стискає тіло і є безпечним для здоров'я. Для виготовлення бюстгальтерів та поясів для панчіх використано досить щільний пластиковий «китовий вус» товщиною 1,6 мм, шириною 0,5 мм, який є раціональним для виробів з невеликим ступенем затяжки, не обмежує рухів, не створює дискомфорту, що робить вироби ергономічними. Виготовлений за сучасними технологіями «китовий вус» не ламається і не деформується після прання.

Рис. 2. Трансформація творчого джерела

Елементами декору, які створюють позитивний емоційний вплив на глядача, в моделях слугують накладки-оздоблення, вишивка бісером та паєтками, декоративна тасьма, що розповсюджуються на оздоблення суконь та бюстгальтерів, підтверджуючи стильову і художню єдність рис. Вишивка є основним елементом декору колекції. Загальновідомими є геометричний, флористичний, зооморфний види орнаментів у вишивці. Серед усього різноманіття нами обрано флористичний орнамент, а саме квіткові та рослинні мотиви. Виокремлення з образу творчого джерела певних елементів дозволило зробити сукні та бюстгальтери художньо виразними. Експериментальним шляхом та методом підбору найбільш влучних колористичних рішень обрано накладки-оздоблення білого кольору, бісер чорного та сірого кольорів, штучне каміння бурштинового кольору, прозорі паєтки. Форму та структуру квітки магнолії передано вишивкою напівпрозорим круглим бісером та прозорими паєтками по накладках-аплікаціях, що

пришиваються одна на одну, утворюючи собою певну деталь виробу, що робить використання даної техніки не тільки декоративним, а й функціональним елементом, формує нагрудну ділянку тіла жінки, візуально збільшуючи бюст. Контрастне кольорове та фактурне поєднання чорних намистин бісеру та накладок-оздоблень білого кольору також символізують середину квітки. Блиск та гладкість бісеру сприяють підсиленню емоційного ефекту, створюють акцент на напівпрозорих виробах колекції.

Рис. 3. Схема загальних ознак моделей колекції нижньої білизни святкового призначення

При виготовленні виробів з декором слід раціонально обирати основний матеріал, до якого пришиваються накладки-оздоблення, бісер, паєтки та каміння, оскільки вироби мають бути ергономічними, витримувати навантаження, не деформуватись і не втрачати естетичний зовнішній вигляд [6]. В ході роботи досліджено основні матеріали для виготовлення вишивки та обрано зразки, що найбільш повно відповідають висунутим споживачами вимогам. Встановлено взаємозв'язок між обраними різновидами бісеру, місцем його розташування, формою і способом вишивки на фактурних накладках-оздобленнях, що пришиваються до виробу. Основним матеріалом обрано прозору сітку, на якій вишивка виглядає витончено.

Фактурні накладки-оздоблення, вишиті блискучим та матовим контрастним бісером, камінням, та прозорими паєтками на напівпрозорих матеріалах постають ключовим елементом моделей колекції, довкола якого формується цілісність художньо-образного рішення.

Особливу увагу приділено комерційності колекції, яка розрахована на споживачів середнього рівня доходу. Для того, щоб передати легкість та прозорість образу, моделі виготовлено з легких і майже невагомих матеріалів [7]. Колекцію складають 5 луків – бюстгальтери, топи, труси, пояси для панчіх, сукні, халати, комбінації, спідниці. Використано змішані матеріали з вмістом різної сировини, які забезпечують зручність та комфорт при носінні. Також в моделях використано поєднання різнофактурних тканин [8]. Характерними аспектами колекції є прилеглий, напівприлеглий, прямий, розширений та завужений до низу силуети, пластична форма, гладка фактура, використання еластичних та рельєфних матеріалів, мережива, декоративної тасьми, бісеру тощо. Натільна білизна при цьому повторює форму тіла людини. Естетична виразність і цілісність колекції досягнута завдяки поєднанню фактур шовку, шифону, мережива, сітки з оздобленням у визначених місцях. Тональна палітра матеріалів колекції складає цікаву варіативність пастельних кольорів, чорний та сірий бісер додають об'ємності та контрастності. Виокремлено загальні ознаки моделей колекції і представлено на рис. 3.

Колекція розрахована на чутливу, романтичну жінку, яка поважає неповторність та індивідуальність, ретельно підбирає образ для особливих подій. Доповненням до колекції стали капронові панчохи тілесного кольору, які були особливо модними у 20–30-х роках минулого століття та шкарпетки з прозорого фатину у поєднанні з босоніжками, що є трендом на світових подіумах. Завершує гармонійний образ гілочка декоративної квітки гіпсофіли у волоссі, що додає образу невимушеності та ніжності.

На основі аналітичних та експериментальних досліджень магістрами кафедри ергономіки і проектування одягу КНУТД, Сторожук О. і Шелигановою О. розроблено художньо-проектні, конструктивно-технологічні рішення моделей, виготовлено і представлено на міжнародному конкурсі молодих дизайнерів «Печерські каштани» (м. Київ, КНУТД, 2017 р.) під назвою «Floral». Загальний вигляд п'яти моделей авторської колекції представлено на рис. 4.

Рис. 4. Загальний вигляд моделей авторської колекції «Floral»

Висновки

Проаналізовано зв'язок сучасних тенденцій сезону весна-літо 2017 та моди 20–30-х років XX ст., визначено, що сучасним тенденціям притаманні спільні риси одягу. За результатами досліджень визначено основні властивості та елементи фактур, форм, кольору творчого джерела, які реалізовано в композиційно-конструктивному рішенні колекції. Розроблено матрицю варіантів моделей колекції з метою забезпечення гармонійного конструктивного рішення, на основі яких запропоновано конструктивно-технологічне рішення. За мотивами історичного костюма 20–30-х років XX ст. та творчої трансформації джерела

натхнення розроблено авторську колекцію жіночої білизни святкового призначення з використанням декору та представлено на міжнародному конкурсі молодих дизайнерів «Печерські каштани» 2017.

Література

1. Лабенко О.А. Дизайн-проектування сценічного ансамблю з використанням бісеру / О.А. Лабенко, Н.В. Остапенко, М.В. Колосніченко, А.Ю. Антонюженко // Вісник ХНТУ. Технічні науки. – 2017. – № 1 (245). – С. 68–72.

2. Малинська А.М. Розробка колекцій одягу : навчальний посібник / Малинська А.М., Пашкевич К.Л., Смирнова М.Р., Колосніченко О.В. – ПП НВЦ «Профі», 2014. – 140 с.

3. Ергономіка і дизайн. Проектування сучасних видів одягу : навчальний посібник / М.В. Колосніченко, Л.І. Зубкова, К.Л. Пашкевич, Т.О. Полька, Н.В. Остапенко, І.В. Васильєва, О.В. Колосніченко. – К. : ПП «НВЦ «Профі», 2014. – 386 с.

4. The development of new forms of special clothes by design projectsing methods / Kolosnichenko O.V., Ostapenko N.V., Kolosnichenko M.V. – Bratislava : Vlakna a Textile, 2016. – № 2. – P. 3–8.

5. Research of some physical and mechanical characteristics of suiting fabrics for designing the clothes / Pashkevich K.L., Kolosnichenko M.V., Ostapenko N.V. – Bratislava : Vlakna a Textile. – 2016. – № 1. – P. 3–8.

6. Дубінецька Г.О. Систематизація елементів весільного одягу на основі принципів трансформації / Г.О. Дубінецька, Н.В. Остапенко, Т.В. Луцкер, Л.В. Навольська // Вісник ХНТУ. – 2016. – № 2(57). – С. 123–135.

7. Пашкевич К. Л. Дизайн-проектирование коллекций одежды сложных объемно-пространственных форм на основе принципов тектоники / К. Л. Пашкевич // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 18. – С. 91–96.

8. Ніколаєва Т.В. Тектоніка формоутворення костюма : навчальний посібник / Ніколаєва Т.В. – К. : Арістей, 2011. – 340 с.

References

1. Labenko O.A. Dyzajn-proektuvannja scenichnogho ansamblju z vykorystannjam biseru / O.A. Labenko, N.V. Ostapenko, M.V. Kolosnichenko, A.Ju. Antonjuzhenko // Visnyk KhNTU. Tekhnichni nauky. - 2017. - № 1 (245). - S. 68-72.

2. Malynsjka A.M. Rozrobka kolekcij odjaghu: Navchaljnyj posibnyk. / Malynsjka A.M., Pashkevych K.L., Smyrnova M.R., Kolosnichenko O.V. – PP NVC «Profi», 2014. – 140 s.

3. Erghonomika i dyzajn. Proektuvannja suchasnykh vydiv odjaghu: Navchaljnyj posibnyk. / M.V. Kolosnichenko, L.I. Zubkova, K.L. Pashkevych, T.O. Poljka, N.V. Ostapenko, I.V. Vasyljjeva, O.V. Kolosnichenko. – K.: PP «NVC «Profi», 2014. – 386 s.

4. The development of new forms of special clothes by design projectsing methods. / Kolosnichenko O.V., Ostapenko N.V., Kolosnichenko M.V. – Bratislava: Vlakna a Textile, 2016. – №2. – R. 3 – 8.

5. Research of some physical and mechanical characteristics of suiting fabrics for designing the clothes. / Pashkevich K.L., Kolosnichenko M.V., Ostapenko N.V. – Bratislava: Vlakna a Textile. – 2016. – №1. – R. 3 – 8.

6. Dubinecjka Gh.O. Systematyzacija elementiv vesiljnogho odjaghu na osnovi pryncypiv transformaciji / Gh.O. Dubinecjka, N.V. Ostapenko, T.V. Lucker, L.V. Navoljsjka // Visnyk KhNTU. – 2016. – № 2(57). – S. 123– 135.

7. Pashkevych K. L. Dyzajn-proektyrovanye kollekcyj odezhdy slozhnykh objemno-prostranstvennykh form na osnove pryncypov tektonyky / K. L. Pashkevych // Vestnyk Kazanskogho tekhnologhycheskogho unyversyteta. – 2016. – T. 19, № 18. – S. 91–96.

8. Nikolajeva T.V. Tektonika formoutvorennja kostjuma. Navchaljnyj posibnyk. / Nikolajeva T.V. – K.: Aristej, 2011. – 340 s.

Рецензія/Peer review : 30.11.2017 р. Надрукована/Printed :01.02.2018 р.
Рецензент: д.т.н. Остапенко Н.В.

УДК 677.075.46:687.2: 620.17

Л.Є. ГАЛАВСЬКА, Н.О. АНТОНЮК, О.А. БАТРАК
Київський національний університет технологій та дизайну

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОЖИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДВОШАРОВОГО ТРИКОТАЖУ БІЛИЗНЯНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Мета статті – *розробка двошарового трикотажу та дослідження його споживних властивостей. Для досягнення поставленої мети застосовано методи аналізу та синтезу науково-технічної та патентної літератури у сфері виготовлення трикотажних полотен для термобілизни та стандартизовані методи дослідження капілярності та повітропроникності текстильних матеріалів. Розроблені зразки полотен з поєднанням різних видів сировини. Проаналізовано властивості сировини для виготовлення термобілизни. Визначено споживчі властивості виготовлених зразків полотен. Виявлено, що поєднання натуральних матеріалів з синтетичними поєднує в собі властивості збереження тепла і відведення надлишкової вологи з поверхні шкіри.*

Ключові слова: *термобілизна, двошаровий трикотаж, повітропроникність, теплозбереження, капілярні властивості.*

L.IE. GALAVSKA, N.O. ANTONIUK, O.A. BATRAK
Kyiv National University of Technology and Design

STUDY OF CONSUMER PROPERTIES OF DOUBLE-LAYER KNITWEAR UNDERWEAR

The goal is to develop two-layer knitwear and study its consumer properties. To achieve this goal, we have studied scientific, technical and patent literature in the field of manufacturing of knitted fabrics for the underwear. Standard methods were used to study the capillarity and air permeability of textile materials. Fabrics with a combination of different types of raw materials have been developed. Two-layer culinary fabric with pressing of the layers by the main threads was selected as the knitwear structure for manufacturing the functional underwear. This structure makes it possible to obtain a knitted fabric with a clear distinction of functional layers. A multifilamentary polyester thread with improved capillary capacity is used as the raw material of the hydrophobic layer. For the face layer, cotton and bamboo yarn were used. To compare the properties of moisture loss, polyester threads were also used in the face layer. The consumer properties of fabricated samples are determined. It is established that combination of natural materials with synthetic ones provides the properties of maintaining heat and removing excess moisture from the skin surface. The received results of research testify that it is advisable to use two-layer knitted fabrics (that contain natural raw material in an external layer) for manufacturing functional underwear for the autumn-winter season. The heat-saving of such fabrics will be higher than in fabrics produced only from synthetic raw materials. At the same time, the capillarity of layers in two-layer bicomponent knitwear is different. The inner layer of synthetic raw material has a lower capillarity than the outer layer made of natural raw materials. This fact explains why the inner layer of underwear remains dry. Moisture from the inner layer is transferred to the outer layer. The outer layer absorbs it with subsequent evaporation. It is commonly known that if moisture is absorbed by the textile material, then thermal conductivity of such material will be higher. Since the inner layer of bicomponent knitwear does not absorb moisture, but only transfers it to the outer layer, the human body in the underwear made from such textile material remains dry and does not become too cool.

Key words: thermal clothes, two-layer knitwear, air permeability, heat preservation, capillary properties.

Вступ

В холодну погоду з давніх-давен у якості утеплювального елемента використовували натільну білизну. Виготовляли її зазвичай з бавовни або вовни. На превеликий жаль, у такої білизни один суттєвий недолік: при значних фізичних навантаженнях виділяється досить велика кількість поту, який просочує гідрофільний за своєю природою матеріал білизни. Це істотно впливає на теплоізоляцію та ступінь комфортності. З'являється небезпека переохолодження тіла.

Сьогодні завдяки сучасним технологіям, що забезпечили суттєвий крок вперед, людство отримало нові інноваційні види матеріалів, які дозволяють виправити цей недолік. Завдяки використанню синтетичних складових, наприклад, таких як поліефір, стало можливим одночасно і зберігати тепло, і відводити вологу. Так з'явилась функціональна білизна.

Функціональна натільна білизна – це білизна, що одержала назву «термобілизна». Основним її призначенням є збереження тепла і відведення пароподібної вологи з поверхні тіла назовні. Термобілизну використовують як для повсякденного носіння, так і для занять спортом, полюванням, риболовлею, активним відпочинком і т. ін. [1]. Найважливіша функція термобілизни – створення оптимального режиму терморегуляції та збереження тепла у підодяговому просторі. Але при цьому вона забезпечує відведення вологи від шкіри людини. Саме таких властивостей білизни дозволяє досягнути використання структури двошарового трикотажу. У такому випадку, внутрішній шар трикотажу, що безпосередньо контактує з тілом людини, формується з синтетичних ниток з покращеною функцією транспорту вологи, а зовнішній – з теплозберігаючої та вологопоглинаючої сировини. Зовнішній шар може бути вироблений як з функціональних синтетичних ниток, так і з натуральної сировини такої як бавовняна, бамбукова пряжі та ін.. Саме за такої комбінації сировини в шарах двошарового трикотажу забезпечується зменшення теплообміну з зовнішнім середовищем, а також поглинання та виведення пароподібної вологи, що продукується тілом людини при значних фізичних навантаженнях, з під одягового простору [2].

Вибір сировини для термобілизни залежить від її призначення. В залежності від призначення термобілизну поділяють на теплозберігаючу, вологовивідну і гібридну (поєднання теплозберігаючих і вологовивідних функцій термобілизни) (рис. 1) [3].

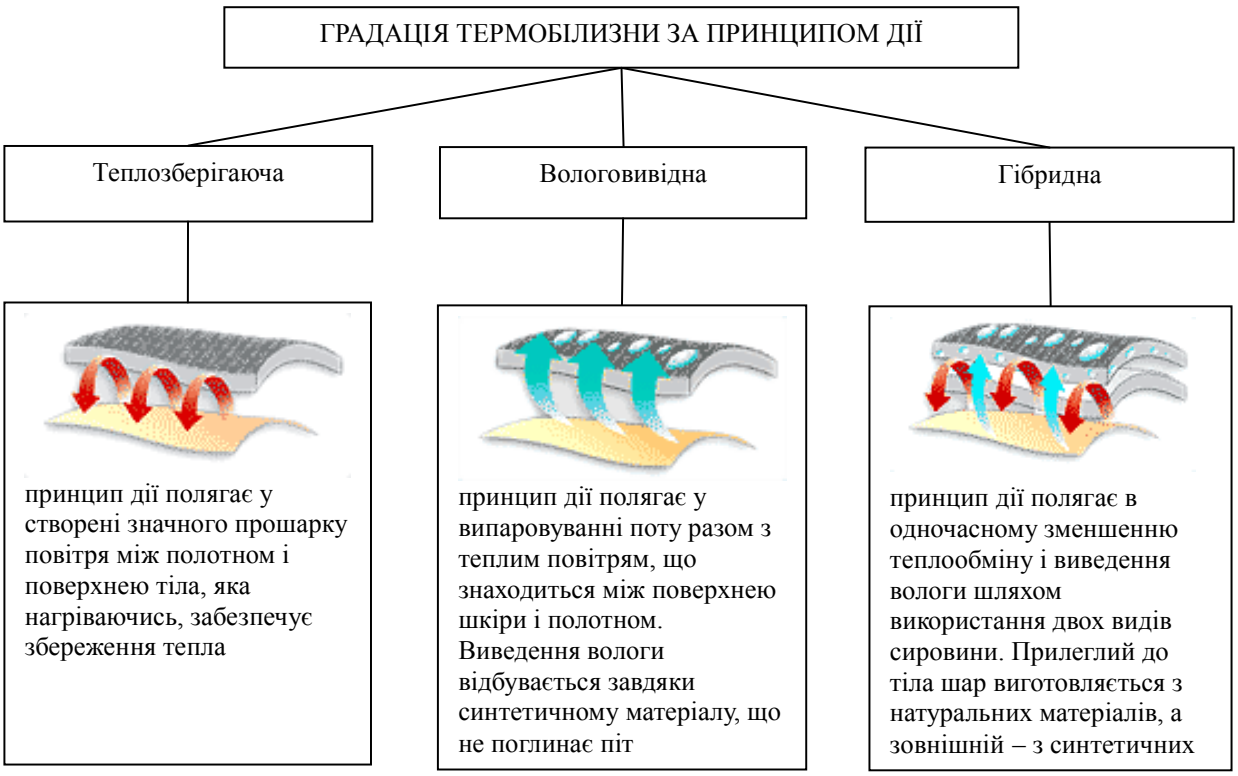


Рис. 1. Різновиди термобілизни

Теплозберігаюча термобілизна призначена для низького та середнього рівня фізичних навантажень при низьких температурах зовнішнього середовища. Для такої термобілизни використовуються натуральні види сировини, які мають властивості теплозбереження, такі як бавовна, вовна, бамбук та інші, або спеціальні синтетичні волокна, які мають пустотілу структуру, за рахунок чого й підвищується властивість теплозбереження [4].

Постановка завдання

Метою даної роботи є дослідження споживних властивостей трикотажних полотен для виготовлення функціональної білизни повсякденного призначення з використанням різноманітних видів сировини. У якості структури трикотажу для виготовлення функціональної білизни обрано двошарове кулірне переплетення з пресовим з'єднанням шарів основними нитками (рис. 2). Дана структура дозволяє одержати трикотажне полотно з чітким розмежуванням функціональних шарів. А саме: один шар (системи 2, 4, 6, 8) формується з синтетичних ниток, а інший (системи 1, 3, 5, 7) – з натуральної сировини з високою здатністю поглинати вологу. Основне цільове призначення полотна: виготовлення термобілизни, що використовується в холодну пору року для прогулянок, що супроводжуються незначними фізичними навантаженнями. Шар трикотажного полотна з синтетичної сировини (гідрофобний шар) забезпечує виведення вологи до зовнішнього шару та швидке висихання, а інший шар з натуральної сировини (гідрофільний шар) – поглинання вологи [5].

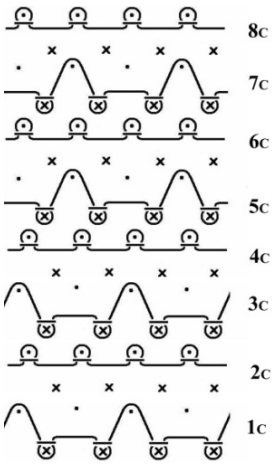


Рис. 2. Графічний запис переплетення

У якості сировини гідрофобного шару пропонується використати багатофіламентну поліефірну нитку з покращеною капілярною здатністю. Поліефірне волокно – революційний матеріал, який завдяки

своїй пружності та властивості збереження форми й терморегуляції надає кінцевій продукції безліч переваг. Антиалергенні властивості, можливість легкого прання, інертність щодо поглинання сторонніх запахів та підвищена м'якість створюють умови комфортної експлуатації виробів з поліефірного волокна [6, 7]. Для формування лицьового шару пропонується використати бавовняну та бамбукову пряжі, а також поліефірні нитки з метою порівняння властивостей щодо вологовідведення. У табл. 1 представлено заправні дані розроблених функціональних полотен білизняного призначення.

Таблиця 1

Заправні дані

№ зразка	Заправні дані по петлетвірним системам
1	системи 1, 3, 5, 7 – бамбукова пряжа 29Х2текс
	системи 2, 4, 6, 8 – поліефірна нитка 16,7текс*Х2
2	системи 1, 3, 5, 7 – бавовняна пряжа 29Х2текс
	системи 2, 4, 6, 8 – поліефірна нитка 16,7текс*Х2
3	системи 1-8 – поліефірна нитка 16,7текс*Х2

Зразки двошарового трикотажного полотна для проведення досліджень вироблено на двофонтурній круглов'язальній машині 16-го класу з ластичним розташуванням голок.

Результати та їх обговорення

Визначення двошарового трикотажного полотна, яке найбільш придатне для виготовлення функціональної білизни передбачає дослідження його споживних властивостей. Одним з основних показників гігієнічності і теплозберігаючих властивостей текстильних матеріалів є повітропроникність. Важливою характеристикою, що дозволяє дати оцінку розробленим трикотажним полотнам щодо їх функціональності є капілярність, яка характеризує ступінь поглинання рідини текстильним матеріалом.

Оцінку капілярності здійснено шляхом вимірювання висоти підняття рідини в елементарній пробі матеріалу, зануреній одним кінцем у воду протягом однієї години [8]. Визначення капілярності розроблених зразків двошарового трикотажу проведено згідно стандартної методики за ДСТУ ГОСТ 3816: 2009 [9]. Капілярність дослідних зразків трикотажних полотен визначено у напрямку петельних стовпчиків та рядів. Це дає змогу оцінити характер розповсюдження вологи у трикотажі вздовж петельних рядів та стовпчиків.

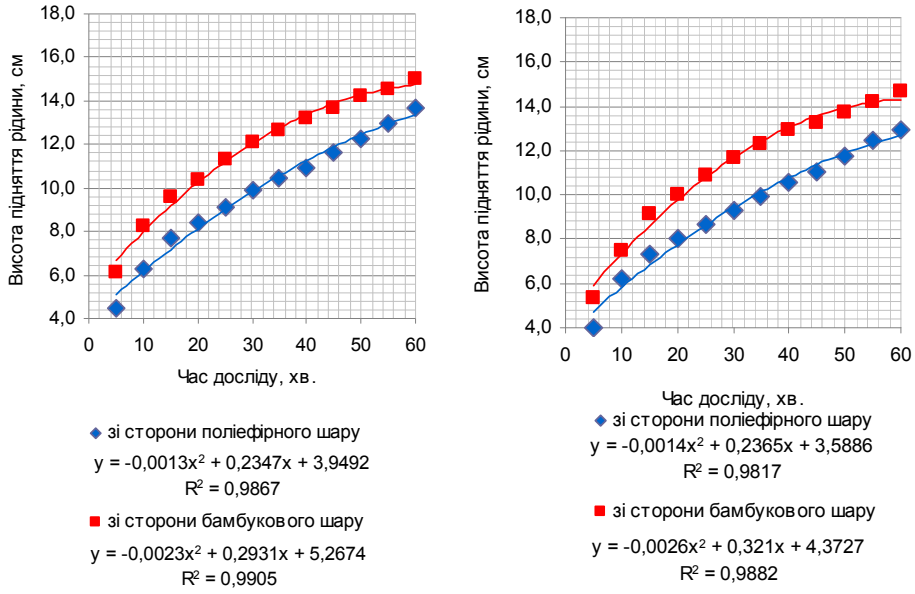
У табл. 2 наведені середні значення підйому підфарбованої рідини вздовж петельних рядів та стовпчиків у пробах трикотажного полотна виготовленого з бамбукової пряжі та поліефірної нитки (зразок 1). Для кращої наглядності одержаних результатів досліджень та виявлення характеру залежності висоти підняття рідини від часу проведення досліду побудовано відповідні графіки (рис. 3а, рис. 3б).

Таблиця 2

Результати дослідження висоти підняття рідини у часі, зразок 1

Тривалість досліду, хв.	Підняття рідини зі сторони бамбукового шару		Підняття рідини зі сторони поліефірного шару	
	вздовж петельних рядів	вздовж петельних стовпчиків	вздовж петельних рядів	вздовж петельних стовпчиків
5	6,1	5,3	4,5	4,0
10	8,2	7,5	6,3	6,2
15	9,6	9,1	7,7	7,3
20	10,4	10,0	8,4	8,1
25	11,3	10,9	9,1	8,7
30	12,1	11,6	9,9	9,3
35	12,6	12,3	10,4	9,9
40	13,2	12,9	10,9	10,6
45	13,7	13,3	11,6	11,1
50	14,2	13,7	12,3	11,8
55	14,5	14,2	13,0	12,4
60	15,0	14,7	13,7	13,0

Як видно з графіків, рівень підняття рідини зі сторони гідрофільного шару (бамбукова пряжа) вищий ніж зі сторони гідрофобного (поліефірна нитка), що пояснюється капілярними властивостями сировини. Рівень підняття рідини вздовж петельних рядів бамбукового шару вищий на 1,3 мм ніж поліефірного, а вздовж петельних стовпчиків різниця складає 1,7 мм. Це свідчить про те, що зовнішній (бамбуковий) шар полотна поглинає вологу краще, ніж внутрішній (поліефірний) шар. При цьому напрямок дослідження (вздовж петельних рядів чи стовпчиків) несуттєво впливає на рівень капілярності.



а **б**

Рис. 3. Підняття рідини вздовж петельних рядів (а) та петельних стовпчиків (б) зразка 1

У табл. 3 наведені середні значення підняття рідини вздовж петельних рядів та стовпчиків у пробах трикотажного полотна, виробленого з бавовняної пряжі та поліефірної нитки (зразок № 2). На підставі даних табл. 3 побудовані графіки (рис. 4а та рис. 4б).

Таблиця 3

Результати дослідження висоти підняття рідини у часі, зразок 2

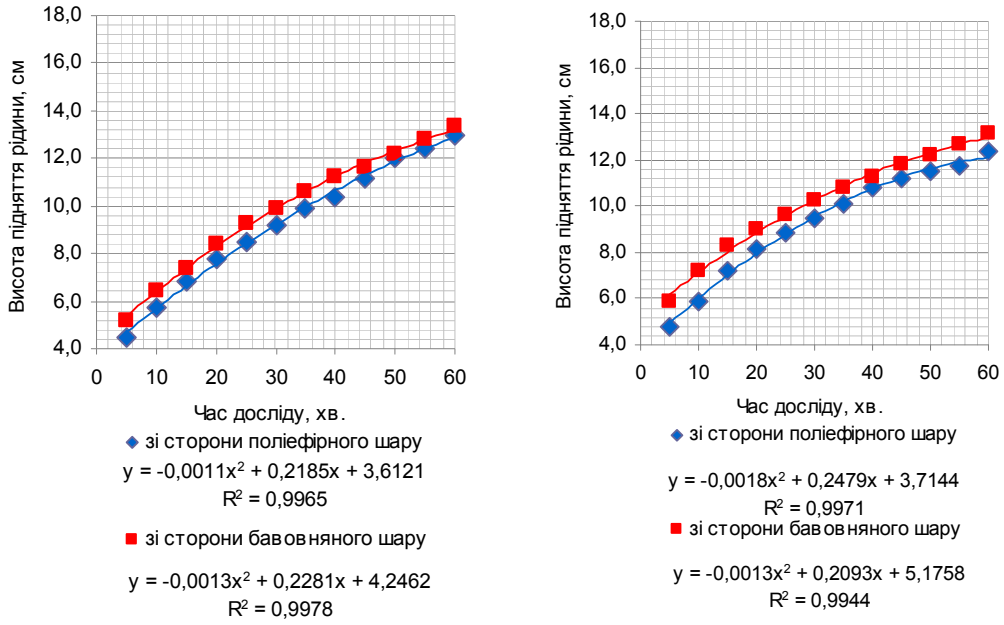
Тривалість досліду, хв.	Підняття рідини зі сторони бавовняного шару		Підняття рідини зі сторони поліефірного шару	
	вздовж петельних рядів	вздовж петельних стовпчиків	вздовж петельних рядів	вздовж петельних стовпчиків
5	5,2	5,9	4,4	4,8
10	6,4	7,2	5,7	5,9
15	7,4	8,3	6,8	7,2
20	8,4	9,0	7,8	8,1
25	9,2	9,6	8,5	8,8
30	9,9	10,2	9,2	9,5
35	10,6	10,8	9,9	10,1
40	11,2	11,3	10,3	10,8
45	11,6	11,8	11,2	11,2
50	12,2	12,2	12,0	11,5
55	12,8	12,7	12,4	11,8
60	13,3	13,2	13,0	12,3

З графіків на рис. 4 видно, що різниця у висоті підняття рідини на 60-й хв досліду, що відповідає рівню капілярності, між бавовняним шаром та поліефірним вздовж петельних рядів становить 0,3 см, вздовж петельних стовпчиків – 1,1 см. На капілярність гідрофобного шару суттєво впливають з'єднувальні пресові накиди, сформовані з гідрофільної сировини та зорієнтовані у напрямку петельних рядів.

У табл.4 наведені середні значення підйому рідини вздовж петельних рядів та стовпчиків у пробах трикотажного полотна, виробленого з поліефірної нитки (зразок 3). На підставі даних табл.4 побудовані графіки (рис. 5а та рис. 5б). Різниця у рівнях підняття рідини на 60-й хв досліду вздовж петельних рядів та петельних стовпчиків становить 2,3 мм, що пояснюється особливостями структуроутворення двошарового трикотажу. Оскільки обидва шари трикотажу утворено з поліефірної нитки, рівень підняття рідини з обох сторін двошарового трикотажу ідентичний.

Висота підняття рідини на 60-й хвилині досліду характеризує рівень капілярності текстильного матеріалу. За одержаними у табл. 2-4 даними побудовано діаграми капілярності зі сторони лицьового та виворітного шарів вздовж петельних рядів та стовпчиків (рис. 6 та рис. 7). Діаграми на рис. 6 наглядно ілюструють, що рівень капілярності лицьового шару полотна найвищий у зразка 3, оскільки даний зразок трикотажу вироблено з багатофіламентної поліефірної нитки з покращеною капілярною здатністю, а найменший – у зразка 2, лицьовий шар якого сформовано з бавовняної пряжі. Рівень капілярності зі сторони гідрофільного шару вздовж петельних рядів зразка 1, сформованого з бамбукової пряжі, порівняно зі зразком 3 на 2,60% менше, зразка 2 з бавовняної пряжі – менше на 13,64%; капілярність вздовж петельних

стовпчиків зразка 1 порівняно зі зразком 3 менше на 16,95%, зразка 2 – менше на 25,42%.



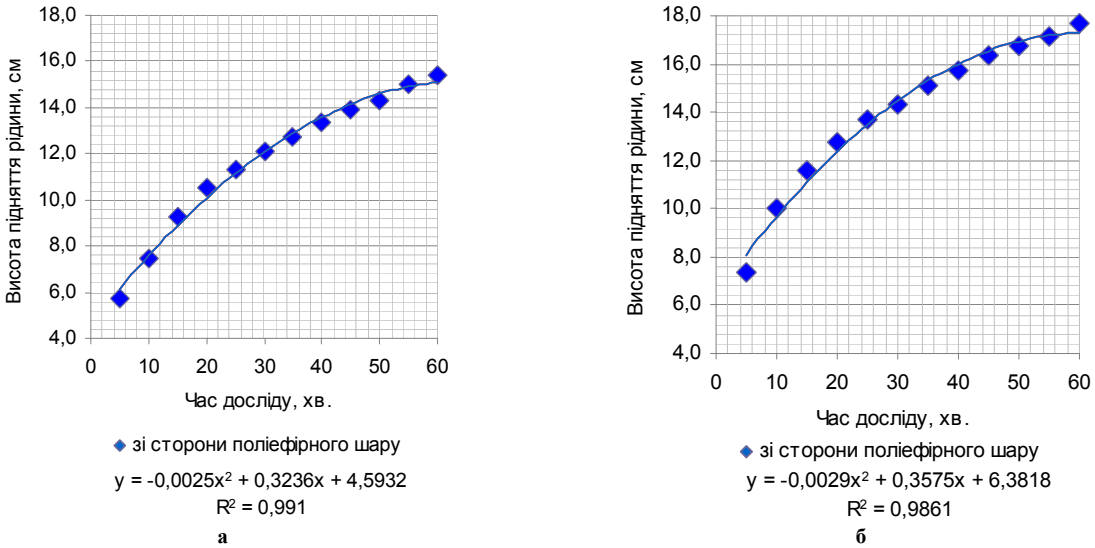
а **б**

Рис. 4. Підняття рідини вздовж петельних рядів (а) та петельних стовпчиків (б) зразка 2

Таблиця 4

Результати дослідження висоти підняття рідини у часі, зразок 3

Тривалість досліду, хв.	Вздовж петельних	
	рядів	стовпчиків
5	5,7	7,3
10	7,5	10,0
15	9,3	11,6
20	10,5	12,7
25	11,3	13,7
30	12,1	14,3
35	12,7	15,1
40	13,3	15,7
45	13,9	16,3
50	14,3	16,?
55	15,0	17,2
60	15,4	17,7



а **б**

Рис. 5. Підняття рідини вздовж петельних рядів (а) та петельних стовпчиків (б) зразка 3

З діаграм, представлених на рис. 7, видно, що рівень капілярності виворітного шару трикотажу

найнижчий у зразка 2, найвищий – у зразка 3, що обумовлено формуванням обох шарів з поліефірної нитки з підвищеною капілярною здатністю. Зокрема рівень капілярності вздовж петельних рядів зразка 1 порівняно зі зразком 3 менший на 11,04%, зразка 2 – менше на 15,58%; вздовж петельних стовпчиків зразка 1 – менше на 26,55%, зразка 2 – менше на 30,51%. Таким чином вид сировини гідрофільного шару впливає на капілярність зі сторони гідрофобного шару.

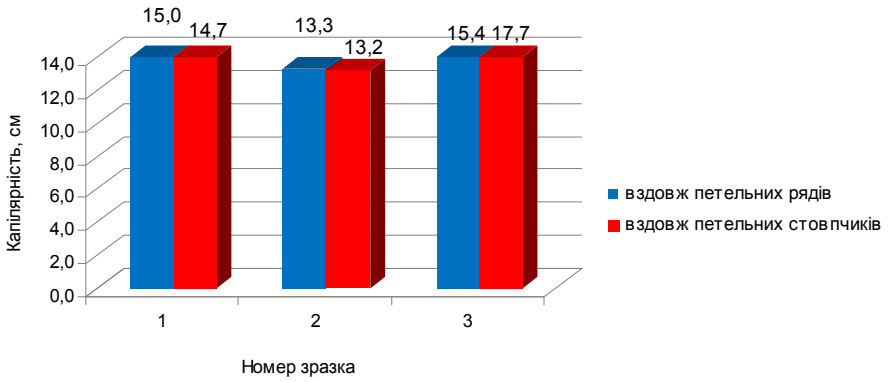


Рис. 6. Діаграми капілярності лицьового шару дослідних зразків двошарового трикотажу

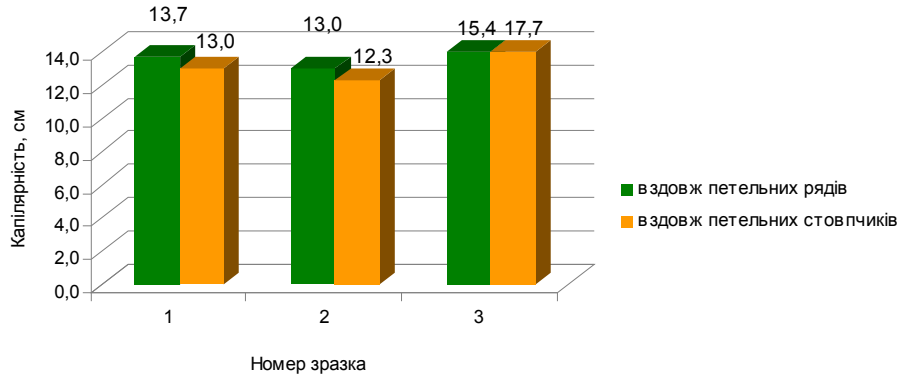


Рис. 7. Діаграми капілярності виворітного шару дослідних зразків двошарового трикотажу

Повітропроникність матеріалів визначається на спеціальних приладах, принцип дії яких полягає у створенні по обидві сторони матеріалу різного тиску, в результаті чого повітря проходить через текстильний матеріал. Визначення повітропроникності, суть якого полягає у вимірюванні об'єму повітря, який проходить крізь 10 см^2 текстильного матеріалу за 1 с при розрідженні 49 Па (5 мм. рт. ст.), проведено у відповідності до стандартизованої методики ДСТУ ISO 9237:2003 [10]. Кількість повітря, що пройшло крізь матеріал, визначено по лічильнику, після чого розраховано коефіцієнт повітропроникності. На рис. 8 представлено результати дослідження повітропроникності розроблених зразків двошарового трикотажу.

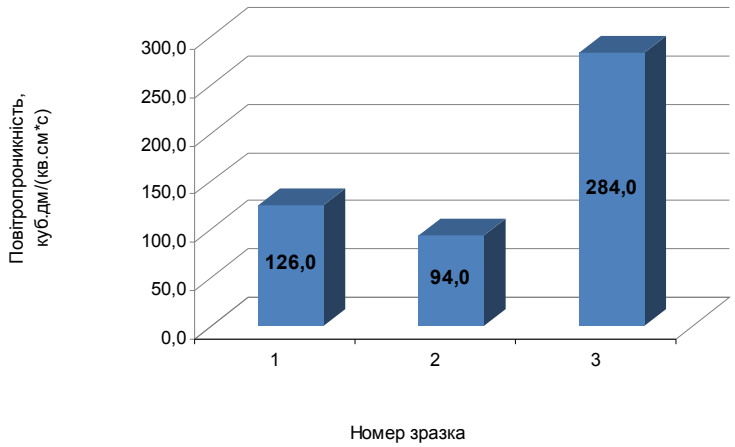


Рис. 8. Діаграма повітропроникності розроблених зразків двошарового трикотажу

З представленої на рис. 8 діаграми видно, що зразок 3, виготовлений з поліефірної нитки, має найвищий рівень повітропроникності. З цього слідує, що рівень теплозбереження даного зразка найнижчий. Зразок 2 трикотажного полотна, один шар якого утворений з бавовняної пряжі, а інший з поліефірної нитки,

показав найнижчий рівень повітропроникності.

Показник повітропроникності зразка 3 перевищує показник повітропроникності зразка 1, виробленого з використанням бамбукової пряжі, на 125,4%, а зразка 2 – на 202,1%. Одержані результати свідчать про те, що рівень теплозбереження у зразках, що містять натуральну сировину вищий. При цьому рівень повітропроникності зразка 1 у порівнянні зі зразком 2 на 34% вищий. Тому у разі виготовлення двошарового трикотажу для функціональної білизни слід враховувати характеристики сировини, з якої формуються його шари. Для виготовлення гібридної термобілизни осінньо-зимового періоду слід використовувати полотна, зовнішній шар яких утворено з натуральної сировини, а внутрішній – з синтетичної сировини з підвищеною капілярною здатністю.

Висновки

Одержані результати досліджень свідчать про те, що двошарові трикотажні полотна, які містять натуральну сировину у зовнішньому шарі, доцільно використовувати при виготовленні функціональної білизни осінньо-зимового призначення. Рівень теплозбереження таких полотен буде більшим ніж у полотен, вироблених лише з синтетичної сировини. При цьому рівень капілярності шарів двошарового бікомпонентного трикотажу відрізняється: внутрішній шар з синтетичної сировини має нижчий рівень капілярності, зовнішній шар з натуральної сировини – вищий. Цей факт доводить те, що внутрішній шар білизни залишиться сухим, а зовнішній шар поглинатиме вологу, що транспортується внутрішнім шаром, та виводитиме її назовні з подальшим випаровуванням. Як відомо, поглинання вологи текстильним матеріалом призводить до зростання його теплопровідності. Оскільки внутрішній шар бікомпонентного трикотажу не поглинає вологу, а лише транспортує її до зовнішнього шару, то тіло людини у білизні, виробленій з такого текстильного матеріалу, залишиться сухим та не буде переохолоджуватись.

Література

1. Что такое термобелье [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://traveller.com.ua/info/odezhda/ termobel.htm

2. Як вибрати термобілизну [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.kuluarbc.com.ua/uk/snaryaga/ termo.html

3. Теплохранитель Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://bodyguards.com.ua/bodyguards/ aksessuary/834-termobele-i-ego-parametry.html

4. Термобелье. Принцип действия [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.med-shop.ru/faq/termo.htm

5. Патент на корисну модель RU 113521 U1, 19.08.2011. Двошарове теплозахисне трикотажне полотно полегшеної структури з властивостями швидкого висихання (варіанти) / Лаврентьєва К. П.

6. Ростекс [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.rostx.ru/doc/intresting/hollofaber_new

7. Галавська Л. Є. Дослідження капілярності двошарового бікомпонентного трикотажу з вмістом конопляної пряжі / Л. Є. Галавська // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2015. – № 5 (90). – С. 183–191.

8. Енциклопедія швейного виробництва : навчальний посібник / КНУТД. – К. : «Самміт-книга», 2010 – 968 с.

9. ДСТУ ГОСТ 3816:2009 (ИСО 811-81). Полотна текстильні. Методи визначення гігроскопічних і водовідштовхувальних властивостей.

10. ДСТУ ISO 9237:2003. Текстиль. Тканини. Визначення повітропроникності.

References

1. Chto takoe termobelj'e. URL: http://traveller.com.ua/info/odezhda/ termobel.htm

2. Jak vybraty termobilyznu. URL: http://www.kuluarbc.com.ua/uk/snaryaga/ termo.html

3. Teplokhranytelj. URL: http://bodyguards.com.ua/bodyguards/ aksessuary/834-termobele-i-ego-parametry.html

4. Termobelj'e. Pryncyp dejstvyja. URL: http://www.med-shop.ru/faq/termo.htm

5. Lavrentj'ejeva K. P. Dvosharove teplozakhysne trykotazhne polotno poleghshenoji struktury z vlastyvostjamy shvydkogho vysykhannja (varianty). Patent na korysnu modelj RU 113521 U1, 19.08.2011.

6. Rosteks. URL: http://www.rostx.ru/doc/intresting/hollofaber_new

7. Ghalavsjka L. Je. Doslidzhennja kapiljarnosti dvosharovogho bikomponentnogho trykotazhu z vmistom konopljanoji prjazhi / L. Je. Ghalavsjka // Visnyk Kyjivsjkogho nacionaljnogho universytetu tekhnologhij ta dyzajnu. – 2015. – 5 (90). – S. 183–191.

8. Encyklopedija shvejnogho vyrobnyctva. Navchaljnyj posibnyk / KNUTD. – K.: «Sammit-knygha», 2010 – 968 s.

9. DSTU GhOST 3816:2009 (YSO 811-81). Polotna tekstyljni. Metody vyznachennja ghighroskopichnykh i vodovidshtovkhuvaljnykh vlastyvostej.

10. DSTU ISO 9237:2003. Tekstylj. Tkanyny. Vyznachennja povitropronyknosti.

Рецензія/Peer review : 07.11.2017 р. Надрукована/Printed :11.02.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Березненко С.М.

УДК 687.4.016

М.С. ВИННИЧУК, І.В. ТОРАК, Г.С. РЕВІНА, Н.О. КОЛОТИЛО
Київський національний університет технологій та дизайну

ВИЯВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ КОМПОЗИЦІЙНО-КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЖІНОЧИХ ГОЛОВНИХ УБОРІВ

У статті проведено теоретичне дослідження, об'єктом якого є жіночі головні убори 2000–2017 років. В процесі досліджень виділено ряд типових головних уборів, які найчастіше зустрічаються в цей період, а саме: капелюх канотьє, кашкет, капелюх ковбойський, берет, кепка. Досліджено головні убори за об'ємністю форми, лінією присаду, способами формоутворення, ступенем прилеглості, матеріалами тощо, що дозволило виявити варіативні параметри форми. Ці параметри можна використовувати для прогнозування модних тенденцій в майбутньому, що є актуальним як для масового, так і для індивідуального виробництва головних уборів в ручному та автоматизованих режимах.

Ключові слова: головний убір, лінія присаду, мода, об'ємність форми, капелюх канотьє, кашкет, капелюх ковбойський, берет, кепка.

M.S. VYNNYCHUK, I.V. TORAK, G.S. REVINA, N.O. KOLOTYLO
Kyiv National University of Technologies and Design

DETERMINING THE LAWS OF THE CHANGE OF COMPOSITE CONSTRUCTION PARAMETERS OF WOMEN'S HEADDRESS

Abstract - The article is devoted to theoretical research, the object of which are women's hats 2000-2017 years. In the process of research, a number of typical hats that are most common in this period are identified, namely: a bonnet hat, a hat, a cap, a cowboy hat, a beret, a cap. The hats were investigated according to the volume of the shape, the line of the appendix, the methods of forming, the degree of adherence, materials, etc., which allowed to reveal variational parameters of the form, namely: the width of the product; height of head of headpiece; angle of inclination of fields; length of field. The results of our comparative analysis of outlines of women's hats are presented in the form of iconic models for selected groups of products. The size of the volume of the shape of the headpiece was determined by the width of the product relative to the diameter of the head of the head dnon. and the height of the head of the product in hats. The average value of the angle of inclination of fields hat changes every year. The maximum inclination angle of the cowboy hat was observed in 2006 – < 49°, and for the bonnet hat in the year 2017 - <22.5°. The minimum angle of a cowboy hat in 2008 is <7.5°, and for the bonnet hat in 2013 - <5°. For the average value of the length of the hat field, a characteristic change in the indicators of each year. Observe both smooth transitions and rapid variations in the mean values of the length of the hat field. The maximum average value of the length of the field of the hat of the cowboy was observed in 2017 10.5 cm, and for the bonnet hat in 2003 was 18.3 cm. The minimum average value of the length of the field of the hat of the cowboy was observed in 2007, 3.92 cm, and for the bonnet hat in 2002 is 3.9 cm. Studies have shown that each constructive parameter has its own range and nature of change, which depends on various factors, mainly from fashion trends. These parameters can be used to predict fashion trends in the future, which is relevant both for mass production and for individual production of headgear in manual and automated modes.

Key words: headdress, spit line, fashion, volumetric form, bonnet hat, hat, cowboy hat, beret, cap.

Вступ

За багато століть мода на головні убори зазнавала значних змін і в стилі, і в способах виробництва. Проектування актуальних форм одягу, головних уборів, аксесуарів неможливе без знання та розуміння механізму моди, причин її виникнення, розвитку та закономірностей. Усе це необхідно знати дизайнеру, модельєру-конструктору головних уборів, щоб уловити розмаїття тенденцій моди та перенести їх в конструкцію, з урахуванням новітніх матеріалів та способу формоутворення.

Напрямки сучасної моди, проектування і виготовлення головних уборів ХХ століття розглянуто у працях: Н.Я. Замойської [1], М.В. Колосніченко, К.Л. Процик [2], Е.Б. Булатової [3]; вплив форми головного убору на сприйняття обличчя людини висвітлено в роботах Л.Б. Ритвінської [4], І.В. Васильєвої [5]; методи проектування головних уборів з поліпшеними показниками антропометричної відповідності розглянуто в роботі О.С. Васильєвої [6]. І все ж завдання врахування модних тенденцій та передбачення їх розвитку, тобто прогнозування форм та видів головних уборів залишається невирішеним.

Постановка завдання

Метою даного дослідження є ретельне вивчення модних тенденцій головних уборів, виявлення основних видів головних уборів ХХІ ст., об'ємних форм, які зустрічаються, новітніх матеріалів тощо з метою прогнозування тенденцій моди головних уборів на декілька років вперед, що є актуальним як для масового, так і для індивідуального виробництва головних уборів в ручному та автоматизованих режимах.

Результати дослідження

Костюм передбачає наявність певної системи, до основних елементів якої належать одяг, взуття, аксесуари, зачіска і макіяж. Аксесуар (від франц. *accessoire*, від лат. *accessorius* – додатковий) доповнення до костюму, який надає йому закінчений вигляд. У моді аксесуар – дуже важлива складова частина образу, стилю одягу. Аксесуари змінюються разом із модою. За призначенням можна виділити функціональні, функціонально-декоративні та декоративні аксесуари (рис. 1) [7].

Рис. 1. Елементний склад системи «костюм»

Головний убір відноситься до функціональних або функціонально-декоративних елементів костюму, він завершує усю систему форм костюму, а також він більше, ніж інші частини костюма (взуття, прикраси) визначає соціальну значущість костюма в цілому та його естетичну цінність. Саме у головному уборі можуть втілюватися морально-етичні норми, яким відповідає костюм. За певних умов виникають нові типи або конкретні художньо-конструктивні вирішення головних уборів, що відповідають вимогам моди або костюма, створюваного для нових видів діяльності людини.

Пластична спряженість головних уборів і костюму в цілому характеризується поступовими переходами від однієї частини форми до іншої, розвитком пластики форми за принципом взаємозв'язку елементів структури. Співвідношення об'ємів одягу і головного убору, розвиток їх в просторі, знаходиться в обернено пропорційній залежності. При збільшенні загальної маси головного убору плечовий пояс прагне до своєї природної форми, а іноді візуально зменшується за допомогою конструктивних ліній. І навпаки, активне розширення і наповнення плечового поясу вимагають легкого, мініатюрного головного убору (рис. 2) [8].

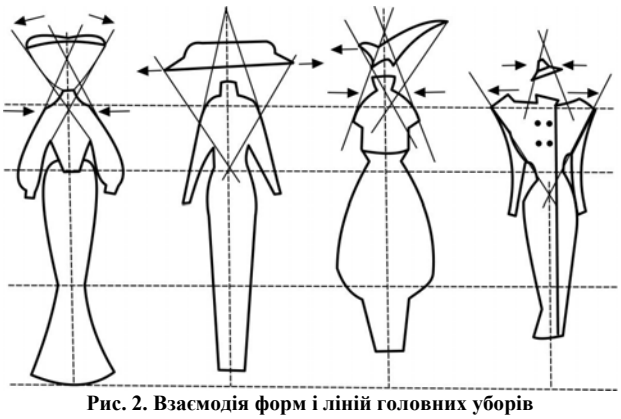


Рис. 2. Взаємодія форм і ліній головних уборів

Зі зміною моди на різні форми костюма змінювалися і варіанти та способи носіння головних уборів. Важливою характеристикою форми, стилю і образу головного убору є лінія присаду. Присад – це лінія, яка проходить у місці членування (або переходу) головки в криси, а за відсутності останніх відповідає нижньому краю головки головного убору. Розміщення лінії присаду, як відомо [5], визначає положення головного убору на голові та суттєво впливає на масу головного убору. Лінія присаду також є важливою характеристикою форми, стилю та образу головного убору. Аналіз показує [3], що зміна розміщення лінії присаду головного убору разом з іншими його характеристиками належить до факторів, які сприяють його еволюції .

В роботі Ритвінської Л.Б. [4] представлені дослідження зміни лінії присаду відносно розмірної лінії обхвату голови Огол.гор., виділено найбільш характерні посадки головного убору протягом XX ст. Проведений аналіз дав змогу зробити висновок, що у XX ст. присад головного виробу змінювався, в основному, протягом 2 – 4 років (рис. 3).

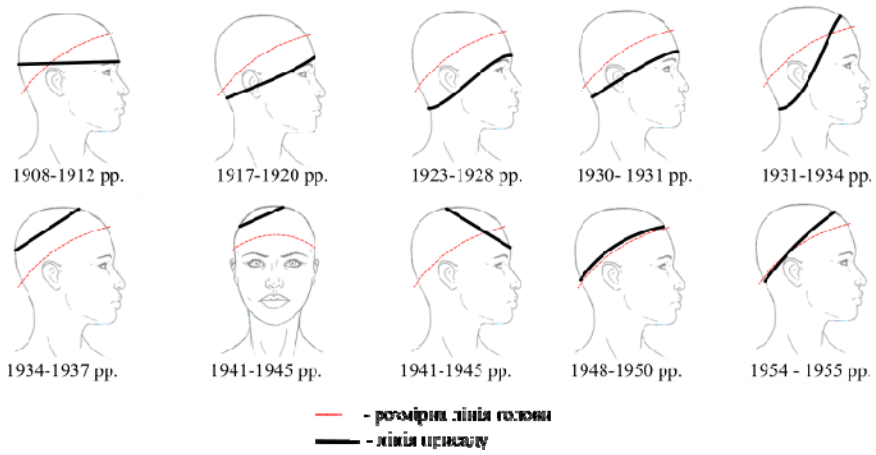


Рис. 3. Зміна положення лінії присаду головного убору відносно розмірної лінії обхвату голови в 1908–1955 рр.

Для дослідження зміни положення лінії присаду в XXI столітті нами було проаналізовано близько 180 жіночих головних уборів весняно-осіннього сезону. Досліджено головні убори з 2000 по 2017 роки за їх різновидами, об'ємністю форми, лінією присаду, способами формоутворення, ступенем прилеглості, матеріалами тощо. Виявлено, що стрімкий розвиток моди XXI ст. не дозволяє зробити чіткий аналіз зміни лінії присаду головних уборів. Це зумовлено великою різноманітністю головних уборів, поєднанням різних стилів та матеріалів. Тому, положення головного убору відносно розмірної лінії обхвату голови протягом одного року має декілька видів присаду (рис. 4). І в зв'язку з цим виділено ряд типових головних уборів, які найчастіше зустрічаються, а саме: капелюх канотьє, кашкет, капелюх ковбойський, берет, кепка.

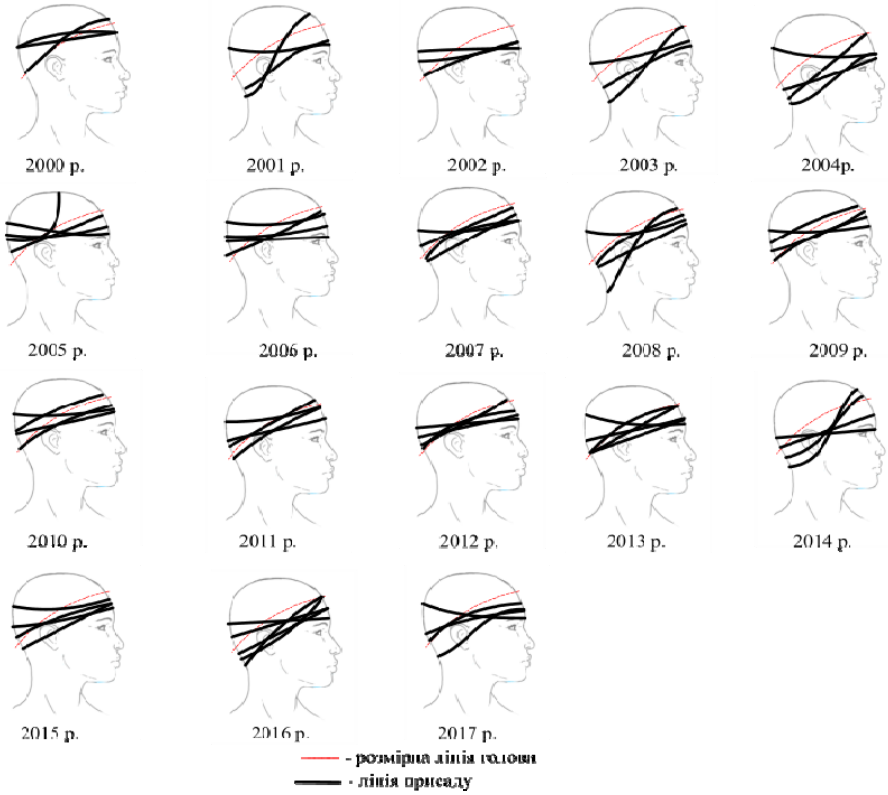


Рис. 4. Зміна положення головного убору відносно розмірної лінії голови в 2000–2017 рр.

Результати проведеного нами порівняльного аналізу обрисів жіночих головних уборів модних форм 2000-2017 років (рис. 5) надано у вигляді іконічних моделей за виділеними групами виробів. Це дослідження дозволило визначити варіативні параметри об'ємності форми, а саме: ширина виробу; висота головки головного убору; кут нахилу крис; довжина крис (рис. 6).

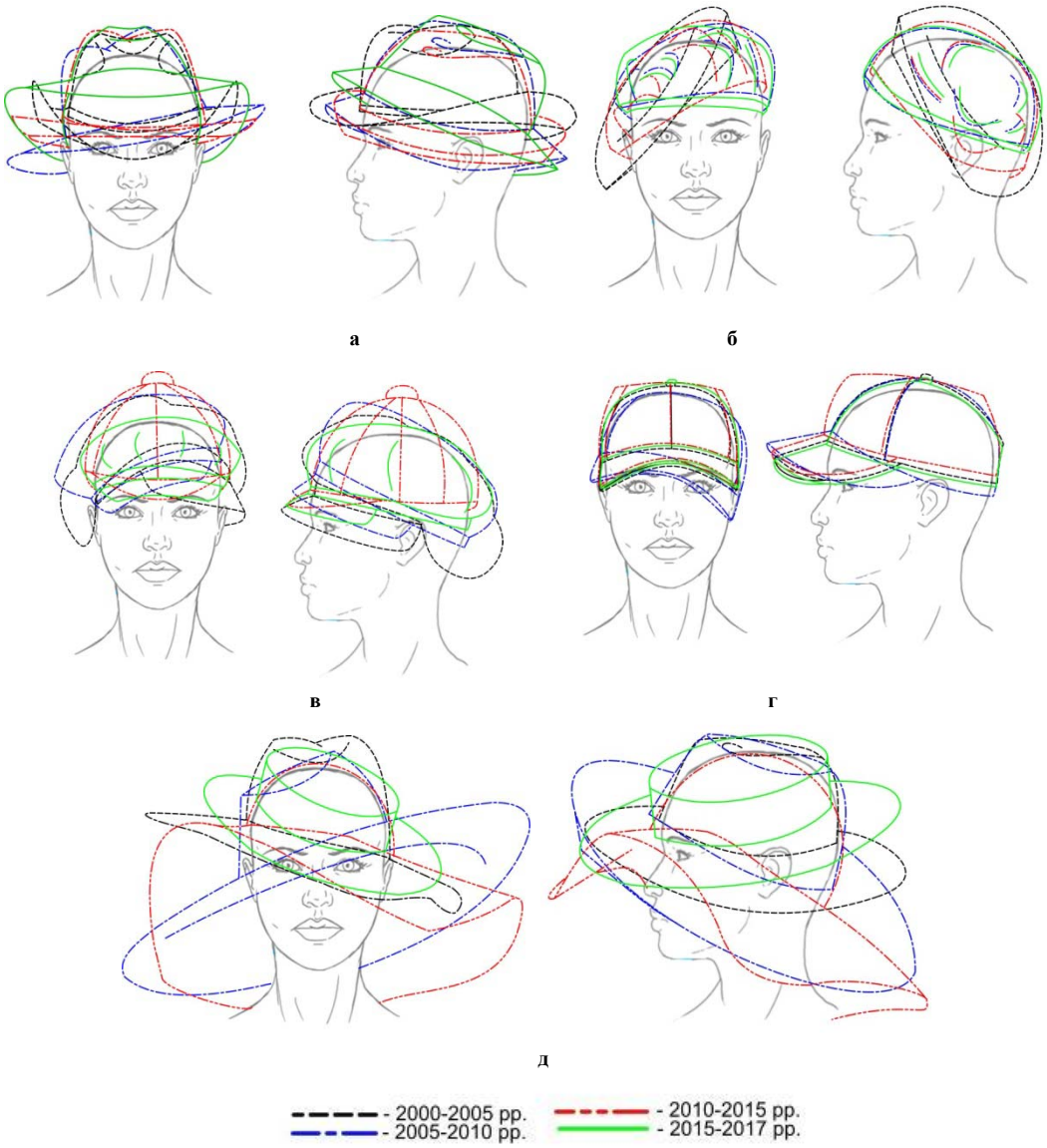


Рис. 5. Іконічні моделі головних уборів жіночих:
а – капелюх ковбойський; б – берет; в – кашкет; г – кепка; д – капелюх канотьє

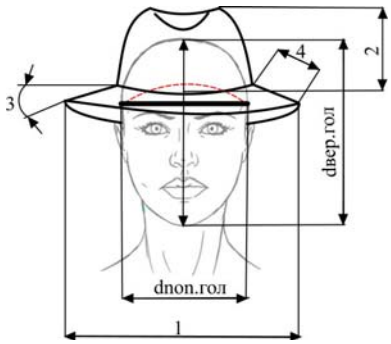


Рис. 6. Схема вимірювання конструктивних параметрів головного убору: 1 – ширина виробу;
2 – висота головки; 3 – кут нахилу крис; 4 – довжина крис

Виявлено, чітке розмежування за ступенем об'ємності форми: в різний період років об'ємність змінювалась від щільно прилягаючих головних уборів до середніх за об'ємом і навпаки, також в деякі роки спостерігаються головні убори великого об'єму.

На початку 2000 років головні убори були не досить розповсюджені, це спричинено впливом 90-х років минулого століття, коли головні убори відійшли на другий план. Та вже з 2005 року головні убори набувають своєї популярності. Збільшується різновидність головних уборів, з'являться капелюшки з різною довжиною крис, змінюються класичні головні убори на фантазійні. Найбільш стрімкий розвиток відбувається з 2010 року, з'являються нові форми головних уборів, повертаються форми капелюхів минулого століття, збільшується об'єм. В період з 2010 по 2015 роки набувають популярності капелюхи з

крисами: кльош, болеро, канотьє, капелюх рибальського типу, чоловічого спортивного типу. Стають менш популярними берети з козирком і без, каскетки без крис, кепі.

В 2016-2017 рр. радикально змінюється напрямок моди на головні убори, з'являються головні убори 2000-х років, повертається популярність на берети, каскетки, кашкети, кепі тощо. Також можна чітко спостерігати зменшення об'ємності форми, появу нових видів головних уборів, використання новітніх матеріалів та способів формоутворення.

Величина об'ємності форми головного убору визначалась шириною виробу (Швир.) відносно поперечного діаметра голови dnon.гол. та висотою головки виробу у капелюхах (рис. 6). Зміну величин об'ємності форми головного убору за основними ділянками з 2000 по 2017 роки показано на графіках (рис. 7, 8).

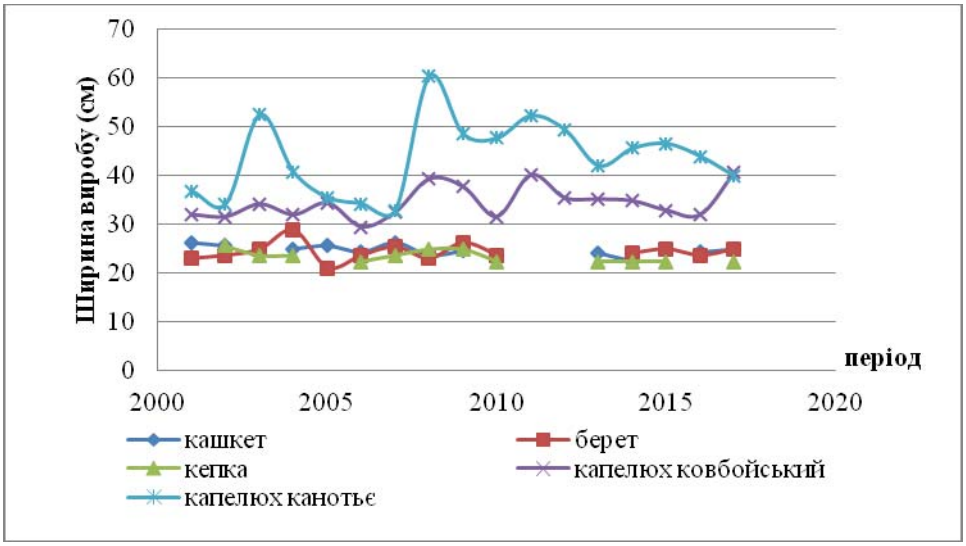


Рис. 7. Зміна ширини виробів в 2000–2017 рр.

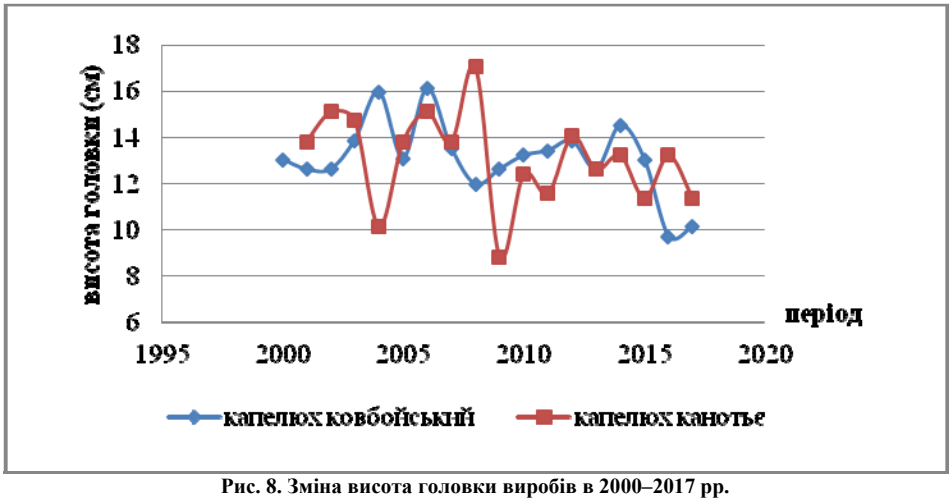


Рис. 8. Зміна висота головки виробів в 2000–2017 рр.

В період 2000–2007 рр. величина об'ємності форми була невеликою і коливалась в межах Швир. = 36,8 – 42,0 см. Стрімке зростання об'ємності форми головного убору почалось з 2008 року – Швир. = 60,4 см, досягло свого піку в 2011 році – Ш вир. = 73,5 см, та почало стрімко спадати, вже в 2017 році – Ш вир. = 42,0 см.

Максимальне значення висоти головки для капелюха ковбойського спостерігалось в 2006 р. – Вгол = 16,1 см; а для капелюха канотьє в 2008 р. – Вгол. = 17,0 см. Мінімальне значення висоти головки для капелюха ковбойського спостерігалось в 2016 р. – Вгол = 9,7 см; а для капелюха канотьє в 2009 р. – Вгол = 9,7 см.

На рисунках 9, 10 представлені результати аналізу зміни кута нахилу крис та зміни довжини крис капелюхів у 2000–2017 роках.

Рис. 9. Зміна кута нахилу крис виробів в 2000–2017 рр.

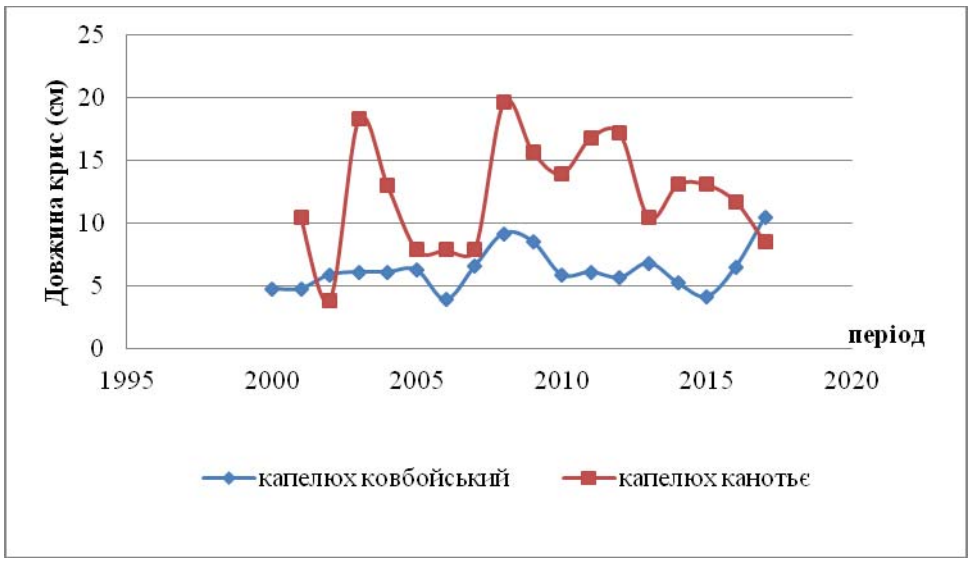


Рис. 10. Зміна довжини крис виробів в 2000–2017 рр.

Середнє значення кута нахилу крис капелюхів кожного року зазнає змін. Максимальний кут нахилу крис капелюха ковбойського спостерігався в 2006 р. – <49˚, а для капелюха канотьє в 2017 р. – <22,5˚. Мінімальний кут капелюха ковбойського в 2008 р. – <7,5˚, а для капелюха канотьє в 2013 р. – <5˚.

Для середнього значення довжини крис капелюхів, характерна зміна показників кожного року. Спостерігають як плавні переходи, так і стрімкі перепади показників середнього значення довжини крис капелюха. Максимальне середнє значення довжини крис капелюха ковбойського спостерігалося в 2017 р. – Дкрис = 10,5 см, а для капелюха канотьє в 2003р. – Дкрис = 18,3 см. Мінімальне середнє значення довжини крис капелюха ковбойського спостерігалося в 2007 р. – Дкрис = 3,92 см, а для капелюха канотьє в 2002 р. – Дкрис = 3,9 см.

Проведені дослідження показали, що кожному конструктивному параметру притаманний свій діапазон та характер змін, який залежить від різних факторів, в основному від тенденцій моди.

Висновки

В процесі досліджень жіночих головних уборів 2000–2017 років виділено ряд типових головних уборів, які найчастіше зустрічаються в ці періоди, а саме: капелюх канотьє, кашкет, капелюх ковбойський, берет, кепка. Досліджено головні убори за об'ємністю форми, лінією присаду, способами формоутворення, ступенем прилеглості, матеріалами тощо, що дозволило виявити варіативні параметри форми. Ці параметри можна використовувати для прогнозування модних тенденцій в майбутньому, що є актуальним як для масового, так і для індивідуального виробництва головних уборів в ручному та автоматизованих режимах.

Література

1. Замойская Н.Я. Головные уборы / Н.Я. Замойская – М. : Народное творчество, 2002. – 104 с.

2. *Колосніченко М. В.* Мода і одяг. Основи проектування та виготовлення одягу / М. В. Колосніченко, К. Л. Процик. – К. : КНУТД, 2011. – 238 с.

3. Булатова Е.Б. Моделирование и конструирование головных уборов : учебное пособие для вузов /

Е.Б. Булатова. – М. : Издательский центр Академия, 2007. – 112 с.

4. Рытвинская Л.Б. Проектирование и производство головных уборов / Л. Б. Рытвинская, И. Г. Смородина, Л. А. Меркулова. – М. : Легпромбытиздат, 1987. – 288 с.

5. Ергономіка і дизайн. Проектування сучасних видів одягу : навчальний посібник / М.В. Колосніченко, Л.І. Зубкова, К.Л. Пашкевич, Н.В. Остапенко та ін. – К. : ПП «НВЦ Профі», 2014. – 386 с.

6. Васильєва О.С. Удосконалення дизайн-проектування головних уборів : автореф. … дис. канд. техн. наук : 05.18.19 / Васильєва Олена Сергіївна. – К. : КНУТД, 2016. – 23 с.

7. Винничук М.С. Аналіз факторів гармонійного поєднання аксесуарів та ювелірних виробів у системі "костюм" / М.С. Винничук, О.В. Колосніченко, К.Л. Пашкевич // Тези доповідей ІІІ Міжнародної науково-практичної конференції [«Сучасний стан легкої і текстильної промисловості: інновації, ефективність, екологічність»], (Херсон, 12-17 вересня 2017 р.). – Херсон, ХНТУ. – С. 125–126.

8. Торак І.В. Удосконаленя процесу проектування головних уборів на основі сучасних інформаційих технологій / І.В. Торак, М.С. Винничук // Тези доповідей XVI Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів [«Наукові розробки молоді на сучасному етапі»] (27-28 квітня 2017 р.) Мін-во освіти і науки України, КНУТД. – К. : КНУТД, 2017. – Т. 1. – С. 147–148.

Referenses

1. Zamoyskaya N.YA. Holovnye ubory / N.YA. Zamoyskaya – M.: Narodnoe tvorchestvo, 2002. – 104 s.

2. Kolosnichenko M. V. Moda i odyah. Osnovy proektuvannya ta vyhotovlennya odyahu. / M. V. Kolosnichenko, K. L. Protsyk. – K.: KNUTD, 2011. – 238 s.

3. Bulatova E.B. Modelyrovanye y konstruyrovanye holovnykh uborov. Uchebnoe posobye dlya vuzov./ E.B. Bulatova – M.: Yzdatelskyy tsentr Akademyya, 2007. – 112 s.

4. Rytvynskaya L.B. Proektyrovanye y proyzvodstvo holovnykh uborov / L. B. Rytvynskaya, Y. H. Smorodyna, L. A. Merkulova. – M.: Lehprombytyzdat, 1987. – 288 s.

5. Erhonomika i dyzayn. Proektuvannya suchasnykh vydiv odyahu: Navchalnyy posibnyk / M.V. Kolosnichenko, L.I. Zubkova, K.L. Pashkevych, N.V. Ostapenko ta in. – K.: PP «NVTS Profi», 2014. – 386 s.

6. Vasylyeva O.S. Udoskonalennya dyzayn-proektuvannya holovnykh uboriv: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: 05.18.19 / Vasylyeva Olena Serhiyivna. – K.: KNUTD, 2016 – 23 s.

7. Vynnychuk M.S. Analiz faktoriv harmoniynoho poyednannya aksesuariv ta yuvelirnykh vyrobiv u systemi "kostyum" / M.S. Vynnychuk, O.V. Kolosnichenko, K.L. Pashkevych // Tezy dopovidey III Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi [«Suchasnyy stan lehkoyi i tekstyl□noyi promyslovosti: innovatsiyi, efektyvnist, ekolohichnist»], (Kherson, 12-17 veresnya 2017r.). – Kherson, KHNTU. – S.125-126.

8. Torak I.V. Udoskonalenya protsesu proektuvannya holovnykh uboriv na osnovi suchasnykh informatsiyykh tekhnolohiy / I.V. Torak, M.S. Vynnychuk // Tezy dopovidey XVI Vseukrayinskoyi naukovoyi konferentsiyi molodykh vchenykh ta studentiv [«Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi»] (27-28 kvitnya 2017 r.) M-vo osvity i nauky Ukrayiny, KNUTD. – K.: KNUTD, 2017. – T.1. – S.147-148.

Рецензія/Peer review : 10.11.2017 р. Надрукована/Printed :06.02.2018 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК 677.076.4

О.В. КИРИЧЕНКО
Вищий навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі»
Л.В. ПЕЛИК
Львівський торговельно-економічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВІТРОПРОНИКНОСТІ ГЕОТЕКСТИЛЬНИХ НЕТКАНИХ МАТЕРІАЛІВ

У роботі висвітлено визначення проникності геотекстильних нетканих матеріалів, що використовуються для фільтрування у об'єктах будівництва. За результатами дослідження з'ясовано залежність повітропроникності від структурних показників, зокрема, поверхневої щільності, товщини, пористості та виду оброблення полотен.

Ключові слова: повітропроникність, геотекстильні неткані матеріали, пористість, поверхнева щільність, товщина.

O.V. KYRYCHENKO
Poltava University of Economics and Trade
L.V. PELYK
Lviv University of Trade and Economics

RESEARCH OF AIR PERMEABILITY OF NONWOVEN GEOTEXTILE

The purpose of the article is to determine the air permeability of geotextile nonwoven materials and its dependence on structural indicators. Geotextiles are considered from two positions: first, the ability to pass water, which is determined by the indicator of permeability, and secondly, to hold on the surface of the soil particle with the formation of a natural filter without full clogging of the material. This indicator characterizes the overall permeability and can be used as an additional parameter when selecting materials to perform filtering functions in construction sites. The research carried out 9 variants of specimens of geotextile needle nonwoven materials made of polypropylene and polyester fibers, the sheets have different processing (without additional processing, thermofixed, calendared, impregnated). The investigated samples differ in mass per unit area and thickness. With an increase in surface density and thickness, the air permeability for untreated samples is reduced by 24%, thermofixed, calendared – by 67%, and thermofixed, calendared, impregnated – by 36%. Samples without treatment are characterized by high air permeability due to high porosity and low volume density. The thermally fixed, calendared materials have the lowest air permeability, due to the surface sealing of the fibers as a result of the high temperatures during processing. Natural tests were conducted by stacking samples 3 and 8 in soil for 12 months, samples 6-8 for 24 months. During the specified terms of operation, the samples was in contact with soil layer, with water that came along with precipitation and maintained in the upper layers, serving as separation, filtration and drainage. The samples had different degrees of colmatation. Air permeability after 12 and 24 months of field testing is reduced, but geotextile nonwoven materials do not lose permeability. The air permeability of geotextile nonwoven materials are influenced by mass per unit area, thickness, type of treatment.

Keywords: air permeability, nonwoven geotextile, porosity, mass per unit area, thickness.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Геотекстильні неткані матеріали (ГНМ) використовується у сучасному будівництві з метою розділення шарів матеріалів, армування нестабільних ґрунтів і конструкцій, а також як фільтрувальний шар у дренажах та інших гідротехнічних конструкціях. Під час вибору ГНМ для фільтрування головними критеріями є характеристика основи об'єкта будівництва (кількість шарів, вид і розміри франції наповнювача тощо), розташування ґрунтових вод, процеси вологонакопичення і випаровування, величини проникності ґрунту та будівельних матеріалів. Крім цього, геотекстиль розглядається з двох позицій: по-перше, здатності пропускати воду, що визначається показником водопроникності, по-друге, затримувати на поверхні частинки ґрунту з утворенням природного фільтру без повного кольматування матеріалу.

Поводження геотекстилю у реальних конструкціях залежить від розмірів отворів як власне нетканого полотна, так і ґрунтового шару. Відомо, що неткані полотна є пористими і водопроникними за рахунок власної структури, хаотичного розташування волокон, складної системи пор. Ці особливості формуються у процесі виробництва під час формування настилу, скріплення волокон у полотні, додаткових термічних оброблень. Розміри отворів ГНМ повинні бути не надто малими, щоб забезпечувати фільтрування, і не надто великими, щоб мати можливість затримувати частинки ґрунту на поверхні [1].

Таким чином, визначення показників проникності є необхідним для прогнозування роботи геотекстильних нетканих матеріалів як фільтрувального шару. Процес проходження або затримання частинок ґрунту крізь полотно залежить від гранулометричного складу, розмірів отворів, пористості матеріалів.

Аналіз останніх досліджень чи публікацій

Використання геотекстилю як фільтрувального шару передбачає дотримання балансу між проникністю і затриманням ґрунту. Неткані полотна завдяки неорієнтованому розташуванню волокон розглядають як матеріали з пористою структурою, у яких відсутні як такі капіляри. Характер розміщення і розміри пор важко визначити експериментально, оскільки виділення конкретної пори серед інших не можливе [2]. Однак, розмір пор і пористість впливають на повітропроникність [3]. Термічне оброблення нетканих голкопробивних матеріалів, зокрема каландрування, має на меті отримання полотен з високою

міцністю, компактним розташуванням волокон за рахунок їх часткового додаткового зчеплення, при чому утворена структура практично не змінюється під час експлуатації [4, 5]. Разом з цим, у результаті каландрування зменшуються розміри отворів і водопроникність [6].

Формулювання цілей статті

Метою статті є визначення повітропроникності геотекстильних нетканих матеріалів та її залежності від структурних показників, що характеризує у загальному проникність та може використовуватися як додатковий параметр під час вибору полотен для виконання функції фільтрування у відповідних конструкціях.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Для дослідження було обрано 9 варіантів геотекстильних нетканих матеріалів. Усі зразки отримані голкопробивним способом. Вар. 2, вар. 8 у складі мають волокна поліпропілену, вар. 1, вар. 3-7, вар. 9 – волокна поліестеру. Полотна вар. 1, вар. 2, вар. 8 без додаткових оброблень, вар. 3, вар. 6, вар. 9 – термофіксовані, каландровані, вар. 4, вар. 5, вар. 7 – термофіксовані, каландровані, просочені. Досліджувані зразки відрізняються поверхневою щільністю від 96 г/м^2 до 311 г/м^2, товщиною 0,7-1,89 мм. Результати дослідження геотекстильних нетканих матеріалів представлені у табл. 1, залежності показника повітропроникності від структури і оброблення проілюстровані на рис. 1.

Таблиця 1

Характеристика показників структури геотекстильних нетканих матеріалів та повітропроникності

Вар. зразка	Об'ємна щільність, г/м^3	Пористість, %	Повітропроникність, дм^3/(м^{2}с)
1	0,09	93,64	1938
2	0,10	88,77	1836
3	0,16	88,39	1317
4	0,17	87,79	1692
5	0,19	86,51	1447
6	0,19	86,33	811
7	0,17	87,67	1088
8	0,09	90,01	1388
9	0,21	84,77	438

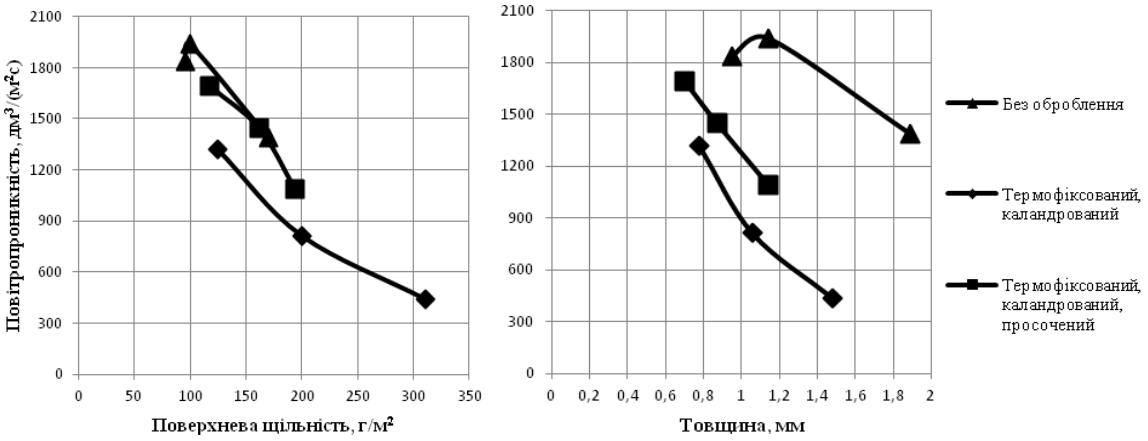


Рис. 1. Залежність повітропроникності від показників структури і оброблення

Як видно з табл. 1, досліджувані зразки характеризуються різною повітропроникністю. Найвище значення 1938 дм^3/(м^{2}с) зафіксовано у вар. 1 при найменшій об'ємній щільності 0,09 г/м^3 і найбільшій пористості 93,64%. Об'ємну щільність 0,21 г/м^3 і пористість 84,77% має вар. 9 з найменшою повітропроникністю 438 дм^3/(м^{2}с). У вар. 2-3, вар. 4, вар. 7 та вар. 5-6, у яких близькі значення пористості, на показник повітропроникності, значення якого відрізняється, впливає співвідношення поверхневої щільності і товщини, а також оброблення. Із збільшенням поверхневої щільності і товщини повітропроникність для необроблених зразків зменшується на 24%, термофіксованих, каландрованих – на 67%, а термофіксованих, каландрованих, просочених – на 36%. Зразки без оброблення характеризуються високою повітропроникністю за рахунок великої пористості та малої об'ємної щільності. Термофіксовані, каландровані полотна мають найнижчі значення повітропроникності, що пояснюється поверхневим ущільненням волокон у результаті дії високих температур під час оброблення.

Оскільки геотекстильні неткані матеріали під час використання піддаються впливу стискаючих, розтягуючих зусиль, потоку рідин, температури тощо, то значення показників властивостей змінюються залежно від умов зовнішнього середовища та вихідних характеристик полотен. Для з'ясування відмінностей були проведені натурні випробування шляхом укладання у ґрунт вар. 3 і вар. 8 на 12 місяців, вар. 6-8 на 24

місяці. Протягом заданих термінів експлуатації полотна контактували з ґрунтовим шаром, з водою, що надходила разом з опадами та утримувалася у верхніх шарах, виконуючи функцію розділення, фільтрування та дренажу. Порівняння ГНМ проводили за поверхневою щільністю, товщиною і повітропроникністю з попереднім оцінюванням зовнішнього вигляду, фіксацією пошкоджень. Досліджувані зразки мали різні ступені закольматованості, повного засліплення не спостерігалося. Частинки ґрунту, що укривали поверхню матеріалів, перед дослідженнями були видалені. Результати визначення показників після 12 місяців натурних випробувань представлені у табл. 2.

Таблиця 2

Зміна показників геотекстильних нетканих матеріалів після натурних випробувань протягом 12 місяців

Варіант зразка	До закопування			Після закопування		
	поверхнева щільність, г/м^2	товщина, мм	повітропроникність, дм^3/(м^{2}с)	поверхнева щільність, г/м^2	товщина, мм	повітропроникність, дм^3/(м^{2}с)
3	125,0	0,78	1317	138,8	0,88	835
8	170,0	1,89	1388	184,6	1,47	795

Аналізуючи дані табл. 2, можна стверджувати, що за рахунок накопичення у порах матеріалу частинок ґрунту збільшується поверхнева щільність. У вар. 3 товщина збільшилася до 0,88 мм, що пояснюється заповненням пустот у зв'язку з кольматацією на фоні закріплення положення волокон полотна під час оброблення. У вар. 8 навпаки зафіксували зменшення товщини до 1,47 мм, оскільки структура не фіксована, більше піддається стисканню. Повітропроникність обох зразків зменшилася, при чому вар. 3 характеризується більшим значенням показника – 835 дм^3/(м^{2}с), за рахунок меншої зміни товщини та впливу оброблення. Дані дослідження зразків після закопування на 24 місяці згруповані у табл. 3.

Таблиця 3

Зміна показників геотекстильних нетканих матеріалів після натурних випробувань протягом 24 місяців

Варіант зразка	До закопування			Після закопування		
	поверхнева щільність, г/м^2	товщина, мм	повітропроникність, дм^3/(м^{2}с)	поверхнева щільність, г/м^2	товщина, мм	повітропроникність, дм^3/(м^{2}с)
6	200,0	1,06	811	277,8	1,34	346
7	194,0	1,14	1088	373,1	1,38	117
8	170,0	1,89	1388	237,0	1,39	795

Після 24 місяців натурних випробувань також спостерігається збільшення поверхневої щільності і товщини у зв'язку із значною закольматованістю, товщина вар. 8 зменшилася до 1,39 мм, що свідчить про деформування матеріалу під впливом зовнішніх факторів та відсутність фіксованої структури. Разом з тим, повітропроникність даного зразка не змінилася і залишилася на рівні 795 дм^3/(м^{2}с). У решти зразків повітропроникність зменшилася, при чому значення показника вар. 7 становить 117 дм^3/(м^{2}с), що пояснюється значним заповненням пор частинками ґрунту. Таким чином, зміна значень показників (рис. 2) залежить від ступеня закольматованості, структури матеріалів та їх оброблення.

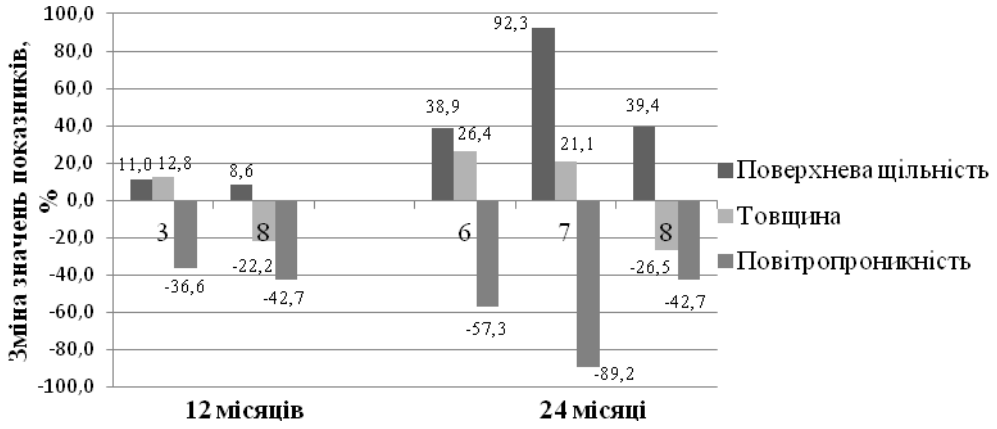


Рис. 2. Співвідношення значень показників зразків після і до натурних випробувань

Так, після 12 місяців натурних випробувань поверхнева щільність змінюється не суттєво на 11,0% і 8,6% для вар. 3 і вар. 8, на відміну від значень показника після 24 місяців. Повітропроникність протягом обох термінів продовжує знижуватися, однак геотекстильні неткані матеріали не втрачають проникність.

Найбільші зміни характерні для вар. 7 – зменшення повітропроникності на 89,2%, однак це пояснюється зростанням поверхневої щільності на 92,3%. У зразків термофіксованих, каландрованих спостерігається поступове зниження повітропроникності на 36,6% після 12 місяців і на 57,3% після 24 місяців. Ураховуючи зміни показників після натурних випробувань, можна зробити висновок, що найстабільнішими за структурними характеристиками залишаються термофіксовані, каландровані (вар. 3, вар. 6), хоча і спостерігається зменшення повітропроникності.

Висновки

Повітропроникність геотекстильних нетканих матеріалів залежить від поверхневої щільності, товщини, виду оброблення полотна, об'ємної щільності та пористості. Найвища повітропроникність 1938 дм^3/(м^{2}с) у вар. 1, що характеризується найменшою об'ємною щільністю 0,09 г/м^3 і найбільшою пористістю 93,64%. Найменша повітропроникність 438 дм^3/(м^{2}с) у вар. 9 з об'ємною щільністю 0,21 г/м^3 і пористістю 84,77%. Повітропроникність зменшується із збільшенням поверхневої щільності і товщини для необроблених зразків на 24%, термофіксованих, каландрованих – на 67%, а термофіксованих, каландрованих, просочених – на 36%. Після натурних випробувань протягом 12 і 24 місяців повітропроникність геотекстильних нетканих матеріалів зменшується у зв'язку з збільшенням поверхневої щільності, товщини і з зменшенням пористості, але полотна не втрачають проникність.

Література

1. Giroud J. P. Development of criteria for geotextile and granular filters. 9th International Conference on Geosynthetics, Guaruja, Brazil, May 2010, 20 p.

2. Трещалин М. Ю. Исследование процесса капиллярного подъема жидкости в нетканых матеріалах / М. Ю. Трещалин, В. С. Мандрон, Г. К. Мухамеджанов // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2009. – № 4. – С. 24–26.

3. Мухамеджанов Г. К. Исследование характеристик воздухопроницаемости, размера пор и пористости нетканого полотна Airlaid / Г. К. Мухамеджанов, С. Ф. Кузьмин, Ю. А. Ростиславина // Технический текстиль. – 2004. – № 10. – С. 9–12.

4. Kopitar D., Skenderi Z., Rukavina T. Impact of calendering process on nonwoven geotextiles hydraulic properties. Textile Research Journal, 2014, 84(1), p. 66–77. DOI: 10.1177/0040517513485627.

5. Karaguzel Kayaoglu B. Characterization of air permeability behavior of needle-punched nonwoven fabrics, Tekstil, 2012. Vol. 61 (1-6), p. 33–40.

6. Bezuijen A., Pilarczyk K. W. Geosynthetics in hydraulic and coastal engineering (The use of geotextiles in coastal and hydraulic engineering: filters, revetments and sand filled structures), EUROGEO 5, Educational session, Technical Report, 2012, 24 p.

References

1. J. P. Giroud. Development of criteria for geotextile and granular filters. 9th International Conference on Geosynthetics, Guaruja, Brazil, May 2010, 20 p.

2. Treschalin M. Yu. Issledovanie protsessa kapillyarnogo pod'ema zhidkosti v netkanyih materialah / M. Yu. Treschalin, V. S. Mandron, G. K. Muhamedzhanov // Izvestiya VUZov. Tehnologiya tekstilnoy promyishlennosti. – 2009. – № 4. – S. 24-26.

3. Muhamedzhanov G. K. Issledovanie harakteristik vozduhopronitsaemosti, razmera por i poristosti netkanogo polotna Airlaid / G. K. Muhamedzhanov, S. F. Kuzmin, Yu. A. Rostislavina // Tehnicheskiy tekstil. – 2004. – № 10. – S. 9-12.

4. D. Kopitar, Z. Skenderi, T. Rukavina. Impact of calendering process on nonwoven geotextiles hydraulic properties. Textile Research Journal, 2014, 84(1), pp. 66-77. DOI: 10.1177/0040517513485627.

5. B. Karaguzel Kayaoglu. Characterization of air permeability behavior of needle-punched nonwoven fabrics, Tekstil, 2012. Vol. 61 (1-6), pp. 33-40.

6. A. Bezuijen, K. W. Pilarczyk. Geosynthetics in hydraulic and coastal engineering (The use of geotextiles in coastal and hydraulic engineering: filters, revetments and sand filled structures), EUROGEO 5, Educational session, Technical Report, 2012, 24 p.

Рецензія/Peer review : 11.11.2017 р. Надрукована/Printed :08.02.2018 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК 685;796.42.093.61

Б.Б. ПЕТРУС, О.П. КОЗАРЬ, В.І. ХІМИЧ, Т.Т. РЕЙС
Мукачівський державний університет

ОСОБЛИВОСТІ МОРФОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СТОП ЛЕГКОАТЛЕТІВ ВІКОВОЇ КАТЕГОРІЇ 12–16 РОКІВ

В даній роботі проведено антропометричні вимірювання стоп юних спортсменів – легкоатлетів вікової категорії 12–16 років. Визначено динаміку зміни морфологічних показників поперечного склепіння стоп впродовж трьох місяців, значення латерального та медіального кутів правої і лівої стопи. Встановлено, що характер циклічного бігового руху (прямолінійний і непрямолінійний), спортивна спеціалізація (спринтери і стаєри), стать спортсмена визначають особливості реакції стопи на фізичні навантаження і змінюють її морфологічні характеристики.

Ключові слова: легка атлетика, біговий рух, поперечне склепіння стопи, морфологічні показники, закономірності.

B. PETRUS, O. KOZAR, V. KHIMYCH, T. REIS
Mukachevo State University

FEATURES OF MORPHOLOGICAL INDICATORS OF THE FOOTS OF LONG-TERM CATEGORIES OF 12-16 YEARS

During training and competition, young athletes use shoes that do not fully meet the requirements for children's athletic shoes, since the size and completeness of the range of imported footwear in our market does not correspond to the parameters of the feet of Ukrainian children, as confirmed by a large number of trainers in Ukraine. It is known that the use of inappropriate footwear can have a detrimental effect on the development of child's foot during regular training and competitions. The database in the footsteps of modern children of athletes is insufficient, which prevents the development of a pad and shoes for the children of this category, which makes this work relevant. Sport specialization of athletes largely determines the features of the foot reaction to physical activity, as well as its morphological parameters. Changing the size of the load on the foot naturally manifests itself in the restructuring of its physiological properties and morphological characteristics. In this work anthropometric measurements of the feet of boys and girls aged 12-16 years old in children's and youth sports schools were conducted, with a total of 300 children, of which 180 sprinters (running for short distances) and 120 stallions (running on long distances). The dynamics of changes in morphological indicators was established by a measurement of the respondents' stop after 1 and 3 months. Depending on the gender of athletes, the type of specialization and the nature of the cyclic jogging movement (linear or indirect), the regularities in the change of morphofunctional indices of the feet of this category of athletes are formulated. The dynamics of the parameters characterizing the transverse arch of the feet, the values of the lateral and medial angles of the right and left foot are determined. It is established that the character of the cyclic jogging movement (straightforwardness and non-linearity), sports specialization (sprinters and stareers), the athlete's position change the morphological characteristics of the foot. The results of this study will allow taking into account the morphological changes in the foot of children athletes in developing a rational inner form of pads and shoes for athletes of the category.

Key words: track and field athletics, racing movement, transverse arch of the foot, morphological indices, regularities.

Вступ

Як відомо, легка атлетика це один із основних та найбільш масових видів спорту, який об'єднує в собі багато дисциплін (ходьба, біг, стрибки, кидання та легкоатлетичне багатоборство), кожна з яких вимагає використання спеціального взуття, так як має особливу біомеханіку рухового апарату, а особливо стопи [1]. Мета носіння спеціального взуття на змаганнях полягає в тому, щоби захистити стопу, надати їй стабільність та щільний контакт з поверхнею. У відповідності з особливостями біомеханіки стоп легкоатлетів при заняттях різними видами легкої атлетики та обумовленими цим експлуатаційними вимогами до взуття розрізняють наступні основні види легкоатлетичного взуття: для тренувань та розігріву (кросове взуття); для спортивної ходьби; для марафонського бігу; для бігу на короткі дистанції (спринт); для бар'єрного бігу; для бігу на середні та довгі дистанції; для стрибків у висоту; для стрибків у довжину; для стрибків із жердиною; для потрійного стрибка; для кидання спису, диску та молоту; для штовхання ядра [2].

Під час тренувань та змагань юні легкоатлети користуються взуттям, яке не зовсім відповідає вимогам щодо дитячого легкоатлетичного взуття, оскільки розмірно-повнотний асортимент існуючого на нашому ринку імпортного взуття не відповідає параметрам стоп українських дітей, що було підтверджено значною кількістю тренерів України [2–4]. Відомо, що використання невідповідного взуття може мати шкідливий вплив на розвиток стопи дитини під час регулярних тренувань та змагань. База даних по стопам сучасних дітей легкоатлетів є відсутньою, що не дає змоги розробити колодку і взуття для дітей зазначеної категорії, що робить дану роботу **актуальною.**

Аналітичний огляд джерел за проблематикою дослідження.

Функціональність спортивного взуття можна розглядати як комплекс властивостей з конкретною взаємозв'язаністю і взаємопідпорядкованістю, які залежать від цільового призначення взуття [5]. Для сучасного спортивного взуття можна виділити дві функції: основну — забезпечення можливості досягнення високих спортивних результатів, і допоміжну, до якої можна віднести захист від несприятливих дій зовнішнього середовища, травм, а також профілактику захворювання стопи спортсмена [6–8].

Проблематикою встановлення особливостей морфології стоп спортсменів залежно від виду спортивної спеціалізації, віку та статі спортсмена займалось багато вчених, таких як Коновал В.П., Архипов

О.А., Бернштейн Н.А., Лапутин А.Н., Половніков І.І. та багато інших [4–12]. Сучасна діагностика морфофункціональних властивостей спопи спортсмена, біомеханіка і фізіологія руху [4, 5, 7] підтверджує гіпотезу взаємозв'язку і взаємопідпорядкованості функціональних властивостей спортивного взуття конкретного цільового призначення в залежності від спортивної спеціалізації.

Особливості біомеханіки стоп легкоатлетів при заняттях бігом на короткі дистанції (спринтери) та бігом на довгі дистанції (стаєри) обумовлені експлуатаційними вимогами до даного виду взуття [8, 12]. В результаті антропометричних вимірювань понад 2 тис. легкоатлетів, представлених в [6], отримана порівняльна характеристика основних розмірів стоп спортсменів-легкоатлетів (чоловіків) різних груп. Для порівняння наведено також дані антропометричних досліджень стоп неспортсменів (тієї ж вікової групи, що і спортсмени), які проводилися в Україні.

Аналіз результатів вимірювань довжини стопи спортсменів різних груп показує, що найбільша довжина стопи у легкоатлетів стрибунів. Характерною особливістю стоп спортсменів легкоатлетів-бігунів є менша варіація довжини стопи в порівнянні з варіацією цієї ознаки у неспортсменів. По всій ймовірності, це відбувається внаслідок обліку антропометричних характеристик при відборі в групи для підготовки спортсменів, що займаються певними видами спорту.

Дослідження ряду морфофункціональних особливостей кінематичної схеми стоп чоловіків на підпорядковуваність симетріям вищого типу представлені в [9]. Для досліджень були взяті 30 рентгенівських знімків стоп з розміром 270±3,0мм без патологічних відхилень, які відповідають середньостатистичним параметрам для чоловічого населення віком 19–29 років. При цьому досліджувалася кісткова будова стоп: параметри різних кісток стопи за абсолютною величиною та пропорційні відношення між різними ділянками стоп. Встановлено, що абсолютні довжини кісток стопи належать до чисел ряду Фібоначчі; а співвідношення між довжинами їх кісток – до коефіцієнтів «золотих пропорцій» [10].

Однак, за даними аналітичного огляду, основні закономірності в розмірних ознаках стоп чоловіків і жінок, які займаються різними видами легкої атлетики, параметри довжинних, висотних та поперечних розмірів стосуються тільки дорослих спортсменів. А база антропометричних даних по стопам сучасних дітей легкоатлетів, зокрема, вікової категорії 12–16 років є недостатньою. В працях [13, 14] авторами представлено результати антропометричних досліджень стоп юнаків і дівчат даної вікової категорії, які активно займаються легкою атлетикою. Отримані дані проаналізовані та встановлені відхилення, які є в стопах дітей. Перевірено показник довжина стопи ($Д_{ст}$) [13], обхват стопи ($О_{ст}$) та ширина стопи ($Ш_{ст}$) [14] на закон нормального розподілу в однорідному колективі. Однак, цих антропометричних даних не достатньо для формування бази даних , відсутні дослідження щодо динаміки морфофункціональних показників поперечного та поздовжнього склепіння переднього відділу правої і лівої стопи. Це не дає змоги в повному обсязі розробити колодку і взуття для спортсменів зазначеної категорії, що робить дані дослідження актуальними.

Об'єкт, мета та задачі досліджень

Об'єктами досліджень вибрані хлопчики та дівчата 12–16 років дитячо-юнацьких спортивних шкіл міст Мукачева, Ужгорода та Берегова. Для отримання достовірних даних, під час проведення антропометричних досліджень, було здійснено вибірку за відповідною методикою, загальною кількістю 300 дітей, з яких 180 спринтерів (біг на короткі дистанції) і 120 стаєрів (біг на довгі дистанції), вибраних з різних класів у відповідності до вікової категорії.

Основною *метою* проведення антропометрих досліджень є отримання статистичних даних щодо розмірних ознак стоп дітей віком 12–16 років і на їх основі встановлення особливостей морфологічних показників, що характеризують поперечне склепіння стоп (значення латерального і медіального кутів правої і лівої стопи) та показників, що характеризують поздовжнє склепіння стоп (висота склепіння правої і лівої стопи і їх довжинні характеристики).

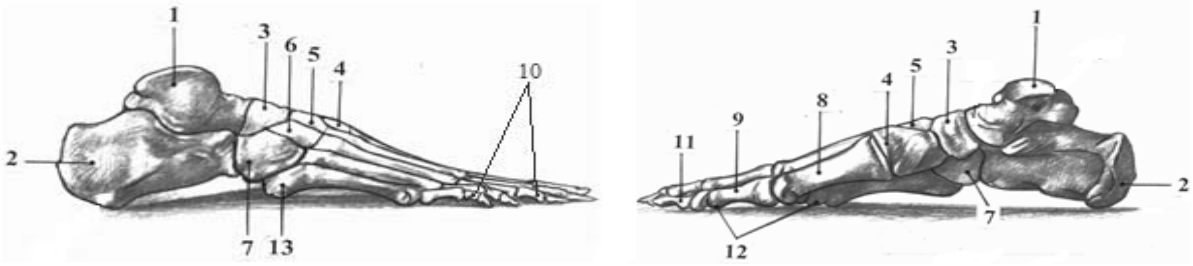
Для досягнення даної мети були сформульовані *завдання дослідження*:

- визначити динаміку морфологічних показників стоп у юнаків і дівчат різних спортивних спеціалізацій (спринтерів і стаєрів) з інтервалом через один і три місяці;
- встановити закономірності у зміні параметрів поздовжнього та поперечного склепінь стоп юних легкоатлетів в залежності від спортивної спеціалізації та характеру циклічного бігового руху;
- здійснити порівняльний аналіз морфологічних характеристик стоп спринтерів і стаєрів при прямолінійних і непрямолінійних циклічних бігових рухах.

Методи та методики антропометричних і біомеханічних досліджень стоп легкоатлетів

Для проведення досліджень антропометричних параметрів та особливостей розмірних ознак стоп спортсменів було використано пантограф, оскільки методика отримання плантограм є швидкою та дає досить точні дані. Для додаткових вимірювань використовувались метричні пристрої для обміру стопи. Отримані дані оброблялися статистично-математичним методом з визначенням M_x, σ_x, V,% де M_x – середньоарифметичне значення, мм; σ_x – середньоквадратичне відхилення; V – коефіцієнт варіації, %.

Методика зняття плантограмми дозволяє об'єктивно оцінити форму і розміри опорної поверхні стопи і стан її склепінь та дослідити зміни латерального і медіального кутів. Плантограмма характеризує всі особливості будови стопи (рис.1) і відображає морфофункціональні відхилення латеральної сторони нижньої кінцівки (обернуту в бік цієї площини) (рис. 1а) і її медіальної сторони (обернуту до середини площини) (рис. 1б).



а *б*

Рис. 1. Вид збоку латеральної сторони нижньої кінцівки (*а*) та її медіальної сторони (*б*): 1 – таранна кістка; 2 – п'яткова кістка; 3 – човноподібна кістка; 4 – перша клиноподібна; 5 – друга клиноподібна; 6 – третя клиноподібна; 7 – кубоподібна кістка; 8 – п'ять трубчатих кісток; 9 – основна фаланга; 10 – середня фаланга; 11 – нігтьова фаланга; 12 – сесамоподібні кістки

Зняття плантограми, а також відбитку плантограмної поверхні і горизонтальної проекції стопи, дозволяють об'єктивно оцінити форму і розміри опорної поверхні стопи і стан її склепінь (рис. 2).

Латеральний та медіальний кути є важливими морфологічними характеристиками стопи: латеральний кут — відхилення 5-го пальця, а медіальний — 1-го пальця. Якщо медіальний кут більший 18º, а латеральний кут більший 12º, відбувається опускання поперечного склепіння стоп. На основі цього змінюється будова стопи спортсмена і виникають різні патології [12].

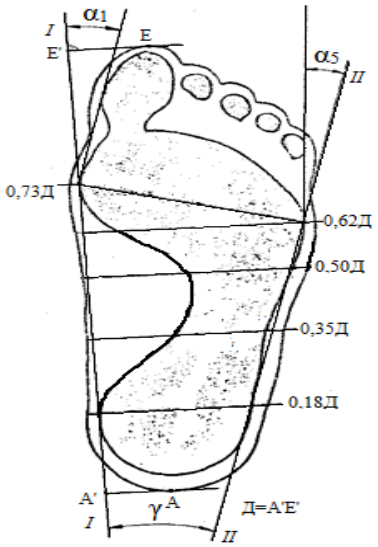


Рис. 2. Розмірні ознаки стопи, які визначаються по плантограммі: *I-I* – дотична, яка проведена з медіального боку відбитку стопи по найбільш виступаючим точкам; *II-II* – дотична, яка проведена через найбільш виступаючі точки відбитку стопи з латерального боку; Д – довжина стопи; γ – кут утворений дотичними *I-I* та *II-II*; α_1 – медіальний кут положення першого пальця, (град); α_5 – латеральний кут положення п'ятого пальця, (град)

На плантограмі відмічаються характерні антропометричні точки, де проявляються адаптаційні зміни стопи спортсмена [12].

Експериментальна частина

Морфологічні характеристики будови стоп у юнаків і дівчат різних спортивних спеціалізацій (спринтерів і стаєрів) визначали та аналізували при прямолінійних та непрямолінійних циклічних бігових рухах.

Аналіз результатів досліджень морфофункціональних характеристик поперечного склепіння стоп у спринтерів обох статей при прямолінійних і непрямолінійних циклічних бігових рухах виявив індивідуальний розкид показників, вони зазнають значних змін в процесі всього періоду спостереження (табл. 1).

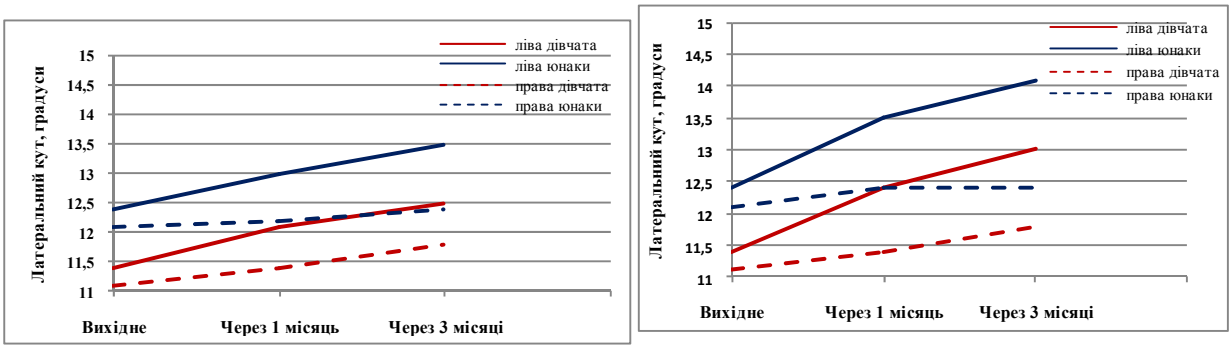
Як показали результати проведених спостережень, у юнаків-спринтерів всі кутові характеристики на лівій і правій стопах мають більші значення в порівнянні з дівчатами (рис. 3). Латеральний кут лівої стопи у юнаків-спринтерів більше, ніж правої на 0,3° на початку дослідження, а через три місяці досягає різниці 0,9°. У дівчат-спринтерів є така ж закономірність: на початку спостереження латеральний кут лівої стопи більше даного кута правої на 0,3°, а через три місяці – 0,7°.

Спостерігається значне збільшення латерального кута лівої стопи спринтерів юнаків і дівчат через три місяці при НЦБР (рис. 3*б*). При цьому, в забезпеченні ресорної функції стопи беруть активну участь обидва склепіння – поздовжній і поперечний.

Таблиця 1

Динаміка морфологічних параметрів стоп у спринтерів

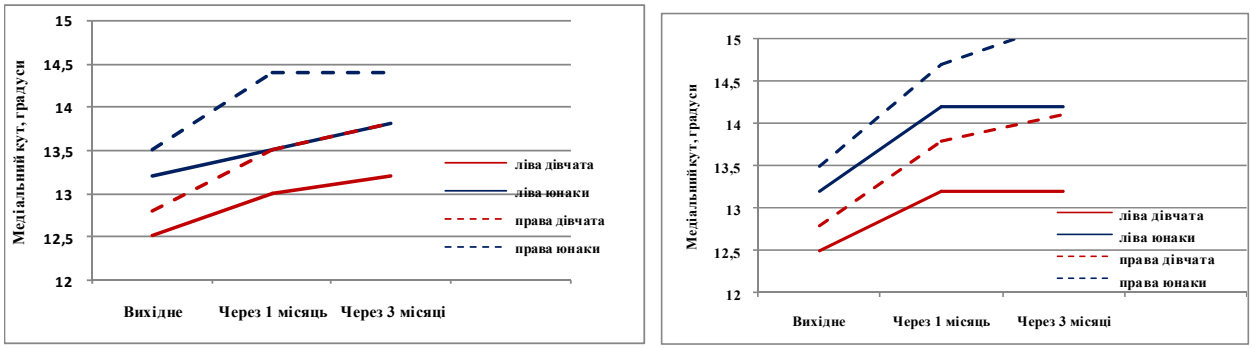
Параметри	Стать	Інтервали дослідження					
		Вихідне		Через 1 місяць		Через 3 місяці	
		ліва	права	ліва	права	ліва	права
при прямолінійних циклічних бігових рухах ПЦБР(M ± m)							
Латеральний кут , градуси	**Дівчата**	11,4±0,11	11,1±0,15	12,1±0,15	11,4±0,12	12,5±0,12	11,8±0,15
	Юнаки	12,4±0,2	12,1±0,15	13 ±0,14	12,2±0,12	13,5±0,12	12,4±0,21
Медіальний кут, градуси	**Дівчата**	12,5±0,11	12,8±0,15	13±0,12	13,5±0,12	13,2±0,14	13,8±0,12
	Юнаки	13,2±0,14	13,5±0,12	14,1±0,15	14,4±0,2	14,4±0,20	14,4±0,12
при непрямолінійних циклічних бігових рухах НЦБР (M ± m)							
Латеральний кут , градуси	**Дівчата**	11,4±0,12	11,1±0,15	12,4±0,20	11,4±0,12	13±0,12	11,8±0,15
	Юнаки	12,4±0,20	12,1±0,15	13,5±0,12	12,4±0,20	14,1±0,15	12,4±0,2
Медіальний кут, градуси	**Дівчата**	12,5±0,12	12,8±0,15	13,2±0,14	13,8±0,12	13,2±0,14	14,1±0,15
	Юнаки	13,2±0,14	13,5±0,12	14,2±0,14	14,7±0,27	14,2±0,14	15,2±0,15



а *б*

Рис. 3. Динаміка параметрів латерального кута переднього відділу стопи у спринтерів при прямолінійних (*а*) та непрямолінійних (*б*) циклічних бігових рухах

Медіальний кут переднього відділу правої стопи у юнаків-спринтерів, навпаки, більше лівої стопи на 0,3°, через три місяці – різниця збільшилася до 0,4°. У дівчат у вихідному стані медіальний кут переднього відділу правої стопи на 0,3° більше, ніж у лівої, а через три місяці різниця досягає 0,6 ° (рис. 4).



а **б**

Рис. 4. Динаміка параметрів медіального кута переднього відділу стопи у спринтерів при прямолінійних *(а)* і непрямолінійних *(б)* циклічних рухах.

Таким чином, у спринтерів обох статей латеральна і медіальна частини переднього відділу лівої і правої стоп змінюється неоднаково. Це може бути пов'язано з біомеханічними особливостями спринтерського бігу, коли основна частина навантаження припадає на передній відділ стопи, причому у лівої стопи в більшій мірі опора припадає на латеральний відділ, а у правої стопи - на медіальний. У процесі спостереження і у дівчат, і у хлопців відбувається збільшення кутових параметрів в середньому на 10–12%.

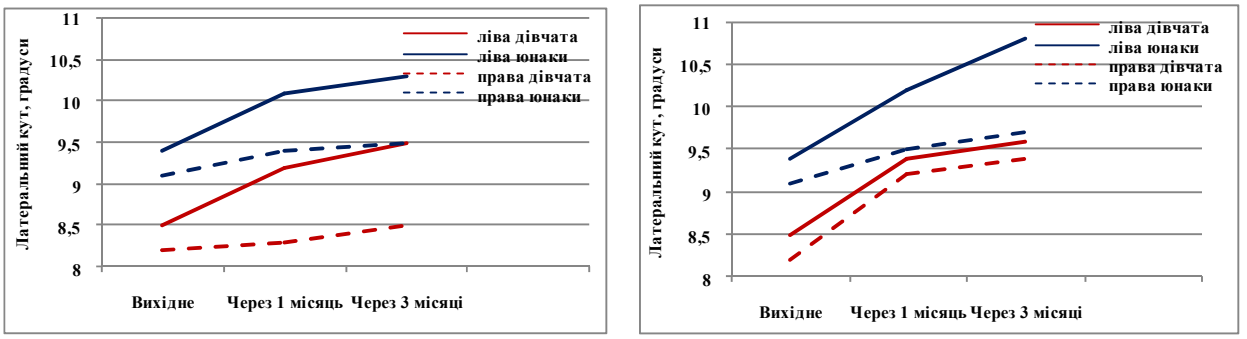
Результати аналізу морфологічних характеристик стоп у спортсменів-стаєрів також свідчать про різний характер динаміки латерального та медіального кутів у юнаків і дівчат (табл. 2, рис. 5, 6).

Таким чином, характер циклічного бігового руху (прямолінійність і непрямолінійність), а також спортивна спеціалізація (спринтери і стаєри) змінюють морфологічні характеристики стоп. При цьому формуються певні особливості показників поперечного склепіння стоп.

Таблиця 2

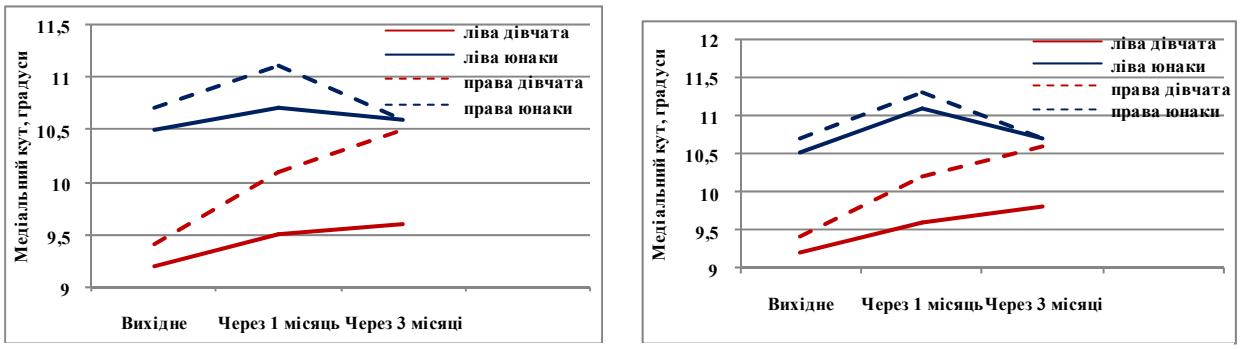
Динаміка морфологічних параметрів стоп у стаєрів

Параметри	Стать	Інтервали дослідження					
		Вихідне		Через 1 місяць		Через 3 місяці	
		ліва	права	ліва	права	ліва	права
при прямолінійних циклічних бігових рухах ПЦБР(M ± m)							
Латеральний кут, градуси	Дівчата	8,5±0,11	8,2±0,11	9,20±0,11	8,30±0,11	9,50±0,11	8,5±0,12
	Юнаки	9,40±0,10	9,10±0,11	10,1±0,10	9,4±0,14	10,3±0,12	9,5±0,15
Медіальний кут, градуси	Дівчата	9,2±0,12	9,4±0,11	9,5±0,12	10,1±0,12	9,6±0,11	10,5±0,12
	Юнаки	10,5±0,12	10,7±0,12	10,7±0,12	11,1±0,12	10,6±0,11	10,6±0,12
при непрямолінійних циклічних бігових рухах НЦБР (M ± m)							
Латеральний кут , градуси	Дівчата	8,5±0,11	8,2±0,11	9,4±0,13	9,2±0,10	9,6±0,12	9,4±0,09
	Юнаки	9,40±0,10	9,10±0,11	10,20±0,10	9,50±0,14	10,80±0,12	9,70±0,15
Медіальний кут, градуси	Дівчата	9,2±0,12	9,4±0,11	9,6±0,12	10,2±0,11	9,8±0,22	10,6±0,12
	Юнаки	10,50±0,12	10,70±0,12	11,10±0,12	11,30±0,12	10,70±0,11	10,70±0,11



а *б*

Рис. 5. Динаміка параметрів латерального кута стопи у стаєрів при прямолінійних (а) і непрямолінійних (б) циклових бігових рухах



а *б*

Рис. 6. Динаміка параметрів медіального кута стопи у стаєрів при прямолінійних (а) і непрямолінійних (б) циклових бігових рухах

Обговорення результатів

Порівняльний аналіз морфофункціональних характеристик стоп спринтерів і стаєрів при прямолінійних (п) і непрямолінійних (н) циклічних бігових рухах підтверджує раніше висловлене припущення про закономірності адаптаційних змін морфофункціональних характеристик склепінь стопи до циклічних бігових рухів.

У спринтерів при ПЦБР переважно змінюються показники поперечного склепіння стоп. Це можна пояснити біомеханічними особливостями спринтерського бігу, при якому контакт стоп з опорою відбувається, в основному переднім відділом стоп і ресорна функція виконується поперечним склепінням, що підтверджується збільшенням кутових характеристик. Визначається довготривала адаптація поперечного склепіння стоп: через місяць після початку спостережень показники збільшуються до максимальних значень, а через три місяці мають тенденцію до зменшення. У дівчат-спринтерів поперечне склепіння стоп адаптується краще до цього виду навантаження, що проявляється меншим розкидом числових показників.

У стаєрів при ПЦБР вертикальне навантаження в основному приходиться на поздовжнє склепіння стоп, при цьому змінюються показники довжини стопи та висоти склепіння. Встановлено закономірність в зміні даних показників: через місяць спостережень поздовжнє склепіння стоп знижується, а через три місяці

відбувається незначне збільшення, що дозволяє говорити про адаптацію стоп до цього виду навантаження. У дівчат спостерігаються менші зміни показників поздовжнього склепіння, ніж у юнаків (в середньому на 10%), що свідчить про великі адаптаційні можливості стоп до тривалого бігу. Необхідно відзначити, що при спринтерському бігу відбуваються зміни в поздовжньому склепінні стоп, а при стаєрському – в поперечному, але вони досить незначні, що дозволяє не акцентувати на цьому увагу.

У юнаків-спринтерів при НЦБР медіальний і латеральний кут збільшуються на 2,2° і 3,0° відповідно, в порівнянні з юнаками-спринтерами при ПЦБР. Спостерігаються відмінності кутових значень переднього відділу між правою і лівою стопами: на правій стопі медіальний кут переднього відділу змінюється на 2,5°, на лівій стопі – 0,5°; латеральний кут передньої правої стопи збільшується на 0,7°, а на лівій стопі на 2,6°. При цьому також змінюються морфофункціональні показники поздовжнього склепіння – зменшується висота склепіння, що вказує на активну участь переднього і середнього відділів поздовжнього склепіння стоп в ресорній функції. У юнаків-стаєрів при НЦБР спостерігається збільшення довжинних розмірів стопи в середньому на 8 мм., в порівнянні з юнаками-стаєрами при ПЦБР, також збільшуються морфофункціональні показники поперечного склепіння, що свідчить про активну участь поперечного склепіння в пристосувальних реакціях стопи до цього виду циклічних рухів.

Стопи дівчат-спринтерів при НЦБР характеризувалися наступними особливостями: кутові характеристики передніх відділів обох стоп збільшились в середньому на 7%, при цьому ліва стопа має менші величини медіальної частини стопи і більші – в латеральному відділі, а права стопа в медіальному відділі. Знижується величина поздовжнього склепіння стоп, але зміна морфофункціональних показників була меншою, ніж у юнаків-спринтерів. Стопи дівчат-стаєрів характеризуються меншими розмірами висоти склепіння, оскільки в забезпеченні ресорної функції бере активну участь поздовжнє склепіння стоп.

При НЦБР у легкоатлетів, незалежно від спеціалізації, спринтери чи стаєри, морфологічні параметри стоп змінюються з більшою мірою, ніж у легкоатлетів при ПЦБР, при цьому відзначається активна участь обох склепінь в забезпеченні ресорної функції. Своєрідність адаптаційних механізмів стоп характеризується зниженням склепінь через місяць спостережень і поступовим підвищенням до кінця третього місяця. У дівчат ці зміни виражені в меншій мірі, що говорить про більш високі адаптаційні можливості стоп до непрямолінійних циклічних бігових рухів.

Висновки

Спортивна спеціалізація легкоатлетів багато в чому визначає особливості реакції стопи на фізичні навантаження, а також її морфологічні параметри. Зміна величини навантаження на стопу закономірно проявляється в перебудові її фізіологічних властивостей і морфологічних характеристик.

В даній роботі проведено антропометричні вимірювання стоп юнаків та дівчат віком 12–16 років дитячо-юнацьких спортивних шкіл загальною кількістю 300 дітей, з яких 180 спринтерів (біг на короткі дистанції) та 120 стаєрів (біг на довгі дистанції). Динаміку зміни морфологічних показників встановлювали щляхом вимірювання стоп респондентів через 1 та через 3 місяці.

В залежності від статі легкоатлетів, типу спеціалізації і характеру циклічного бігового руху (прямолінійного чи непрямолінійного), сформульовано закономірності у зміні кутових показників стоп даної категорії спортсменів. Визначено динаміку параметрів, що характеризують поперечне склепіння стоп - значення латерального та медіального кутів правої і лівої стопи.

На основі порівняльного аналізу морфологічних характеристик стоп спринтерів і стаєрів при прямолінійних і непрямолінійних циклічних бігових рухах встановлено наступне:

а) інтенсивні інтервальні циклічні бігові рухи, характерні для спринтерського бігу призводять до зниження поперечного склепіння стоп, що проявляється збільшенням кутових параметрів переднього відділу стопи;

б) при непрямолінійних циклічних бігових рухах у легкоатлетів, незалежно від спеціалізації, спринтери чи стаєри, морфологічні параметри стоп змінюються з більшою мірою, ніж у легкоатлетів при прямолінійних, при цьому відзначається активна участь обох склепінь в забезпеченні ресорної функції.

Таким чином, характер циклічного бігового руху (прямолінійність і непрямолінійність), спортивна спеціалізація (спринтери і стаєри), стать спортсмена змінюють морфологічні характеристики стоп. Результати даного дослідження щодо особливостей морфофункціональних показників стоп юних легкоатлетів дадуть змогу врахувати їх при розробці раціональної внутрішньої форми колодки та взуття для спортсменів зазначеної категорії.

Література

1. Озолина Н. Г. Легкая атлетика : учебник для институтов физической культуры / Н. Г. Озолина, Д. П. Маркова. – 2 изд. – М., 2002. – 328 с.

2. Жилкин А.И. Лёгкая атлетика : учеб.пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / А. И. Жилкин, В. С. Кузьмин, Е. В. Сидорчук. – М. : Академия, 2003. – 464 с.

3. Архипов О.А. Інноваційні біомеханічні технології у фізичному вихованні і спорті студентства / О.А. Архипов // Теорія і практика фізичного виховання. – Донецьк : ДонНУ, 2008. – № 1-2. – С. 253–266.

4. Arkhypov O.A. Videocomputer Modeling of Technique lor Hlilo Athletes Proceedings of FISU/CESU Conference, the I8[1r1] Univorsiado. 24 August, Fukuoka, Japan. – 1995. – P. 370–371.

5. Бернштейн Н.А. Биомеханика и физиология движений / Н. А. Бернштейн. – М. : Моск. псих.-социал. ин-т, 2004. – 212 с.

6. Половников И.И. Биомеханические особенности проектирования спортивной обуви / И. И. Половников. – К. : «Знание», 2000. – 144 с.

7. Лапутин А.Н. Диагностика морфофункциональных свойств стопы спортсменов / А. Н. Лапутин, В. А. Кашуба, В. В. Гамалий, К. Н. Сергиенко // Наука в олимпийском спорте. – К., 2003. – № 1. – С. 67–74.

8. Laputin A. Biomechanics in sport / A. Laputin, V. Bobrovnik, N. Nosko, R. Laiuni // XVI International symposium on biomechanics in sport - Germany, Konstanz, July 21–25. – 1998. – Proceedings II. – P. 112–115.

9. Nomara T. Effect of sprint-assisted swimming on hand pressure during breastroke / T. Nomara, D. L. Costil, G.A. Lee and other // Proceedings of a FISU/CESU Conference, the 18th Universiade 1995, Fukuoka, 24 August. 1995. – P. 146–147.

10. Miller D. Microcomputer in Biomechanical Research / D. Miller //International Journal of sport Biomechanics. – 1986. – Vol. 2. – № 2. – P. 63–65.

11. Kennedy P. W. Comparison of film and video techniques for three-dimensional DLT reproductions / P. W. Kennedy, D. L. Wright, G.A. Smith // International Journal of Sport Biomechanics. – 1989. – Vol. 5. – № 4. – P. 457–460.

12. Практическая биомеханика / [А.Н. Лапутин, В.А. Кашуба и др.] ; под общей ред. А.Н. Лапутина. – К. : Науковий світ, 2000. – 298 с.

13. Петрус Б. Б. Антропометричні дослідження стоп дітей легкоатлетів віком 12–16 років / Б. Б. Петрус, Д. А. Чалих, В. П. Коновал // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2010. – № 1. – С. 131–139.

14. Петрус Б. Б. Обхватові та широтні антропометричні дослідження стоп дітей легкоатлетів віком 12–16 років / Б. Б. Петрус, С. Є. Каменець, В. П. Коновал // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2011. – № 6. – С. 219–223.

References

1. Ozolyna N. H. Lehkaya atletika / N. H. Ozolyna, D. P. Markova. Uchebnik dlya instytutov fizicheskoy kul'tury, 2 izd. - M., - 2002. -328s.

2. Zhylkin, A.Y. Lyohkaya atletika: ucheb.posobie dlya stud. vyssh. ped. ucheb. zavedeniy / A. Y. Zhylkin, V. S. Kuz'myn, E. V. Sydorchuk. — M.: Akademyya, 2003.- 464 s

3. Arkhypov O.A. Innovatsiyni biomekhanichni tekhnolohiyi u fizychnomu vykhovanni i sporti student·stva / O.A. Arkhypov// Teoriya i praktyka fizychnoho vykhovannya. Donets'k: DonNU, - 2008. - №1-2. -S. 253-266.

4. Arkhypov O.A. Videocomputer Modeling of Technique lor Hlilo Athletes Proceedings of FISU/CESU Conference, the I81'1 Univorsiado.- 24 August, Fukuoka, Japan. - 1995. - R. 370-371.

5. Bernshteyn H.A. Byomekhanyka y fyzyolohyya dvyzhenyy / N. A. Bernshteyn - M.: Mosk. psykh.-sotsyal. yn-t, 2004. - 212 s.

6. Polovnykov Y.Y. Byomekhanicheskie osobennosti proektirovaniya sportivnoy obuvi / Y. Y. Polovnykov – K.: «Znanye», 2000.– 144s.

7. Laputyn A.N. Diahnostika morfofunktsyonal'nykh svoystv stopy sportsmenov / A. N. Laputyn, V. A. Kashuba, V. V. Hamalyy, K. N. Serhyenko // Nauka v olimpiyskom sporte K.: - 2003. -№1. – S. 67-74.

8. Laputin A. Viomechanics in sport / A. Laputin, V. Bobrovnik, N. Nosko, R. Laiuni // XVI International symposium on biomechanics in sport - Germany, Konstanz, July 21-25. – 1998. - Proceedings II. - R. 112-115.

9. Nomara T. Effect of sprint-assisted swimming on hand pressure during breastroke / T. Nomara, D. L. Costil, G.A.Lee and other //Proceedings of a FISU/CESU Conference, the 18th Universiade 1995, Fukuoka, 24 August. 1995. - R. 146-147.

10. Miller D. Microcomputer in Biomechanical Research /D. Miller //International Journal of sport Biomechanics. – 1986. - Vol. 2. - № 2. – R. 63-65.

11. Kennedy P. W. Comparison of film and video techniques for three-dimensional DLT reproductions / P. W. Kennedy, D. L.Wright, G.A. Smith //International Journal of Sport Biomechanics. – 1989.- Vol. 5.- № 4. - R. 457- 460

12. Prakticheskaya byomekhanika / [A.N.Laputyn, V.A.Kashuba y dr.]; Pod obshchey red. A.N.Laputyna. - K.: Naukovyy svit, 2000. - 298 s.

13. Petrus B. B. Antropometrychni doslidzhennya stop ditey lehkoatletiv vikom 12-16 rokiv / B. B. Petrus, D. A. Chalykh, V. P. Konoval// Visnyk Kyyivs'koho natsional'noho universytetu tekhnolohiy ta dyzaynu. – 2010. -№ 1. – S.131-139.

14. Petrus B. B. Obkhvatovi ta shyrotni antropometrychni doslidzhennya stop ditey lehkoatletiv vikom 12-16 rokiv / B. B. Petrus, S. Ye. Kamenets', V. P. Konoval// Visnyk Kyyivs'koho natsional'noho universytetu tekhnolohiy ta dyzaynu. – 2011. - №6. – S. 219-223.

Рецензія/Peer review : 12.12.2017 р. Надрукована/Printed :05.02.2018 р.
Рецензент: д.е.н., проф. Стегней М.І.

УДК 675.266

Н.І. АДАКІНА, Т.О. КОЛЕСНИК, О.А. АНДРЕЄВА
Київський національний університет технологій та дизайну

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РІЗНИХ СПОСОБІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ШКІРЯНОГО ПЕРГАМЕНТУ

Аналіз літератури виявив потребу у відродженні та удосконаленні виробництва вітчизняного пергаменту. Досліджено технологічні особливості різних способів виготовлення шкіряного пергаменту, їх вплив на структуру та властивості продукту з овечої сировини. Експериментально встановлено, що кращими за органолептичною оцінкою та формуванням структури при відносно високих показниках хімічного аналізу та фізико-механічних випробувань є зразки пергаменту-транспаранту і пергаменту, призначеного для реставраційних потреб. Отримані результати будуть використані у подальших дослідженнях з удосконалення способів виготовлення пергаменту різного цільового призначення.

Ключові слова: шкіряний пергамент, способи виготовлення, властивості.

N.I. ADAKINA, T.O. KOLESNYK, O.A. ANDREYEVA
Kyiv National University of Technologies and Design

TECHNOLOGICAL FEATURES OF DIFFERENT METHODS OF MANUFACTURING LEATHER PARCHMENT

Analysis of literature has revealed the need for the revival and improvement of the production of native parchment. The purpose of the work was to identify such or such methods of manufacturing leather parchment, which in future would serve as a basis for improving its technology and for expanding the possibilities of practical application. The technological features of various ways of manufacturing parchment, their influence on the structure and properties of the product from sheep raw materials are investigated. It has been experimentally established that the change in the parameters and sequence of the processes of curing and final processing in the form of plasticization, bleaching, etc. affect the formation of the structure of the dermis, causing a change in its important indicators such as strength, hydrothermal stability and relative elongation. At the same time, samples of parchment-transparency and parchment, which is intended for restoration needs, are the best in organoleptic evaluation and in the formation of structures with relatively high indicators of chemical analysis and physical-mechanical tests. The results obtained will be used in further studies on improving the methods for manufacturing parchment for various purposes.

Key words: leather parchment, methods of manufacturing, properties.

Вступ

Пергамент уявляє собою тонкий й водночас міцний шкіряний матеріал, виготовлений переважно зі шкур телят, овець або кіз. З давніх-давен його, головним чином, використовували у якості матеріалу для написання, для документів, нотатків або сторінок книги, кодексу чи рукописів. І навіть у наш час пергамент вважається «найкращим письмовим матеріалом, який коли-небудь був розроблений». Від традиційно вичиненої шкіри пергамент відрізняється тим, що це золений, але не дублений матеріал, через що він дуже чутливий до зміни відносної вологості. Найкращі різновиди пергаменту дістали назву «веллум» [1, 2].

Аналіз технологічних особливостей виготовлення пергаменту [3–5] виявив важливість правильного вибору сировини, способу обробки шкури та хімічних реагентів. Особливої уваги заслуговують матеріали, призначені для розпушення мікроструктури дерми, оскільки вони багато в чому визначають властивості майбутнього продукту: його щільність, товщину, якість та спосіб обробки поверхні. Спочатку для цього використовували золу, за назвою якої процес і дістав свою назву «зоління». Пізніше, поряд із золою, для розпушення шкури стали застосовувати інші реагенти мінерального та органічного походження, з яких найбільш поширеним в Європі реагентом стало вапно. На відміну від шкіри, природна структура якої фіксується за допомогою дубильних сполук, структура пергаменту закріплюється завдяки сушінню у натягнутому стані. Всі наступні операції з виготовлення пергаменту виконуються також у натягнутому стані для збереження утвореного плоско-паралельного розташування первинних та вторинних волокон колагену, що у подальшому дозволяє використовувати пергамент як письменний матеріал [6, 7]. Для надання пластичності пергаментну заготовку пластифікують гліцерином, жировими емульсіями і т.і., а для надання матовості обробляють крейдою, парафіном тощо [8, 9].

У наш час виготовлення та удосконалення технології виробництва вітчизняного пергаменту майже припинено. Проте, відродження такого виробництва було б актуальним, враховуючи нагальну потребу у реставрації старовинних книжкових видань та рукописів, а також цінову недоступність імпортного продукту. Крім того, з пергаменту можна виготовляти вироби й іншого призначення: музичні інструменти, предмети декоративно-прикладного мистецтва і т.і. [5, 10].

Виходячи з викладеного, метою роботи було виявити такий або такі способи виготовлення шкіряного пергаменту, які у подальшому слугували би основою для удосконалення його технології та розширення можливостей практичного використання. Для реалізації зазначеної мети поставлено та реалізовано наступні завдання: аналіз відомих способів виготовлення пергаменту з виявленням найбільш прийнятних з них щодо одержання якісного шкіряного матеріалу в умовах сьогодення; проведення обробки овечої сировини за обраними способами; дослідження особливостей перебігу технологічних процесів та їх вплив на структуру та властивості дерми; порівняльна оцінка впливу умов обробки на властивості

одержаних зразків пергаменту.

За об'єкт дослідження обрано різні способи виготовлення шкіряного пергаменту, предмет дослідження – визначення взаємозв'язку між умовами обробки та властивостями цього унікального біоматеріалу.

Експериментальна частина

У роботі використано овчину мокросоленого методу консервування площею 79,4 дм^2 і товщиною у стандартній точці 2,6 мм, інші показники вихідної сировини наведено у табл. 1. Високий вміст мінеральних речовин можна пояснити впливом способу консервування.

Таблиця 1

Показники вихідної сировини

П.ч.	Показник	Значення
1	Масова частка вологи, %	56,2
2	Масова частка мінеральних речовин, %	15,9
3	Масова частка речовин, що екстрагуються органічними розчинниками, %	0,24
4	Масова частка голинної речовини, %	82,4
5	Температура зварювання, ˚С	69,0

Групи зразків у кількості трьох штук у кожній підбирали за методом асиметричної бахроми [11] та обробляли у ємності 10 дм^3 з вмонтованими полками для перемішування при неперервному обертанні зі швидкістю 18-20 хв$^{-1}$ на установці кулькового двовалкового млина М-188-01. Оскільки основним процесом у технологічному ланцюжку пергаменту є зоління, удосконалення способів виготовлення цього виду шкіри має бути спрямоване саме на цей процес. Традиційним методом зоління-зневолошування шкіряної сировини при виробництві різних видів шкір є лужно-сульфідний спосіб. З точки зору екології він є найбільш небезпечним і найбільшу частку забруднень у стоках шкіряних підприємств складають забруднення після зоління-зневолошування цим методом.

Сучасний підхід до технологічних процесів екології змушує переглядати традиційні способи виробництва шкір. Альтернативою традиційному золінню можуть стати безсульфідні, окиснювальні та ферментативні способи [12, 13]. Тому для постановки експерименту використали відомі способи виготовлення шкіряного пергаменту [7, 14–16], які відповідають цим міркуванням і відрізняються послідовністю процесів та операцій, видом застосованих реагентів та способом їх введення. Наприклад, процес зоління виконувався за участю різних реагентів мінерального та органічного походження або у дві (*групи I, II*), або в одну стадію (*групи III, IV*). Також по-різному виконувались оздоблювальні операції, що передбачали відбілювання, пластифікацію та парафінування пергаментної заготовки:

- ***група I*** – сучасний спосіб виготовлення пергаменту [14], який включає процес відбілювання, рамне сушіння та наступну пластифікацію яєчною емульсією [8], а технологічний ланцюжок можна представити як промивка - відмочування - міздріння I - промивка - зоління I (гідроксид кальцію – 10 г/л) - зганяння волосу - міздріння II - промивка - зоління II (гідроксид кальцію – 16 г/л) - промивка - міздріння III - промивка - знезолювання (сульфат амонію – 2 %) - промивка - відбілювання (хлорне вапно – 8 г/л) - промивка - сушіння I - шліфування I - пластифікація (яєчний жовток – 40 г, гліцерин – 20 мл, водний розчин аміаку /10-відсотковий/ – 3 мл, мило нейтральне – 10 мл, вода – 30 мл, ланолін – 2 % від загального об'єму розчину) - сушіння II - шліфування II;

- ***група II*** – сучасний спосіб отримання пергаменту [15] для реставраційних потреб, який також передбачає пластифікацію ланоліновою емульсією, сушіння, і проведення операцій крейдування та парафінізації; його технологічний ланцюжок має такий вигляд: промивка - відмочування - міздріння I - промивка - зоління I (гідроксид кальцію – 15 г/л) - промивка - зганяння волосу - міздріння II - промивка - зоління II (гідроксид кальцію – 20 г/л) - промивка - міздріння - промивка - знезолювання - промивка - сушіння - шліфування - пластифікація (етиловий спирт – 62 мл, гліцерин – 8 мл, ланолін – 5 мл, мило нейтральне – 2 г, вода – 100 мл) - сушіння - крейдування - парафінування;

- ***група III*** – старий спосіб отримання особливого виду пергаментної шкіри – так званого «транспаранту», основною відмінністю якого є наповнювання алюмокалієвими галунами для захисту від вологи та подальше відбілювання альбуміновим розчином цинкових білил [7]; він має такий технологічний ланцюжок: промивка - відмочування (хлорне вапно – 0,2 %) - промивка - міздріння - промивка - зоління (хлорид натрію – 5 %, сульфід натрію – 5 %, гідроксид кальцію – 8 г/л) - промивка - зганяння волосу - міздріння - промивка - знезолювання - промивка - наповнювання для захисту від вологи (алюмокалієві галуни – 5 г/л, борошно пшеничне – 2,5 г/л) - промивка - відбілювання (цинкові білила – 2 %, сухий яєчний альбумін – 10 %) - промивка - віджимання - сушіння - шліфування - пластифікація (гліцерин) - сушіння;

- ***група IV*** – сучасний спосіб отримання шкіряного пергаменту, який включає прискорений спосіб зоління мокросоленої сировини [16], пластифікацію олійною емульсією та парафінування шкіри з обох сторін [9]; нижче наведено його технологічний ланцюжок: промивка - відмочування (хлорне вапно – 0,2 %) - промивка - міздріння - промивка - зоління (сухий яєчний альбумін – 0,2 %, глюкоза – 0,1 %, меркаптоетанол – 0, 2 %, тіогліколева кислота – 0,2 %, сечовина – 0,2 %, хлорид кальцію – 1 %, гідроксид натрію – 2 %, сульфід натрію – 0,5 %) - промивка - зганяння волосу - міздріння - промивка - знезолювання - промивка -

віджимання - сушіння - шліфування - пластифікація (оливкова, рицинова, зволожувальна олія та гліцерин – по 1 мл, мило нейтральне – 0,5 мл, вода – 5 мл, ланолін – 0,5 мл) - сушіння - шліфування - парафінування.

У лабораторних умовах загальна тривалість зоління-зневолошування становила: *група I* – 130 год; *група II* – 130 год; *група III* – 26 год; *група IV* – 6,5 год. Під час відмочування зразків всіх груп застосували неіоногенну ПАР у кількості 2–5 %, під час нейтралізації – сульфат амонію у кількості 2,0 % від маси зразків [17].

Для дослідження відпрацьованих робочих розчинів, вихідної сировини та одержаних шкір використали поширені у шкіряно-хутровому виробництві методи кількісного аналізу, завдяки яким визначали ті показники, які дозволяють скласти достатнє уявлення про вплив умов обробки на формування структури та властивостей шкіряних матеріалів. Для визначення вмісту голинної речовини, крім методу К'єльдаля, застосували метод виплавляння желатину, який дозволив виявити особливості структури колагену за допомогою сучасного спектрофотометру марки Ulab 102UV – однопроменевого пристрою, що включає 128×64 точковий матричний ЖК-дисплей для колориметричного аналізу при діапазоні хвиль 190-1000 нм [18].

Ступінь виплавляння желатину визначали по калібрувальній кривій, яку будували для розчину харчового желатину за методикою [11]. Для цього наважку желатину (0,3-0,5 г на абсолютно суху речовину) переносили у хімічну склянку, заливали 50 мл теплої дистильованої води і залишали для набухання протягом 30 хв. Далі склянку витримували на водяній бані (температура води 50-60 ˚С) при періодичному перемішуванні до повного розчинення желатину. Потім у мірних колбах готували серію розчинів желатину різної концентрації (0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 г/л), для чого до певного об'єму розчину желатину додавали дистильовану воду (приблизно до половини колби), по 1 мл 30-відсоткового розчину гідроксиду натрію та 5-відсоткового розчину сульфату міді, доводили об'єм колби до мітки і ретельно перемішували. Одержані розчини витримували у темному місці протягом 20 хв, фільтрували через паперові фільтри та аналізували на спектрофотометрі при довжині хвилі 520 нм. На підставі отриманих даних будували калібрувальну криву, відкладаючи по осі абсцис концентрацію желатину, а по осі ординат – показання фотоколориметра. Користуючись калібрувальною прямою, визначали вміст виплавленої голинної речовини.

Ніяких відхилень під час обробки овечої сировини за всіма обраними способами не виникало. Характеристики робочих розчинів рідинних процесів відмочування та зоління наведено у табл. 2, з даних якої видно, що ступінь відпрацювання зольних розчинів відносно гідроксиду кальцію найкращий у *групі I* (94,3 % на першій та 87,8 % на другій стадії); у *групах II* і *III* він дещо нижче: у *групі II* – 88,3% на першій та 82,8 % на другій стадії цього процесу; у *групі III* – 93,06% (зоління проводили в одну стадію). Щодо ступеня використання сульфіду натрію при золінні, то у *групі III* цей показник дорівнює 35,0 %, у групі *IV* – 49,8 %.

Таблиця 2

Характеристика робочих розчинів

Група	Процес	Значення pH		Концентрація речовин, г/л				
		вихід.	відпрац.	NaCl	$Ca(OH)_2$		Na_2S	
				відпрац.	вихід.	відпрац.	вихід.	відпрац.
I	Відмочування	8,4	7,7	20	-	-	-	-
	Зоління I	11,3	9,2	-	10,08	0,57	-	-
	Зоління II	10,8	10,0	-	16,12	1,96	-	-
II	Відмочування	8,2	7,5	15	-	-	-	-
	Зоління I	10,4	10,0	-	14,83	1,74	-	-
	Зоління II	10,0	7,0	-	20,16	3,46	-	-
III	Відмочування	8,0	7,3	10	-	-	-	-
	Зоління	12,9	11,7	-	7,66	0,53	1,11	0,72
IV	Відмочування	8,5	7,0	10	-	-	-	-
	Зоління	11,3	11,1	-	-	-	0,27	0,14

Спосіб обробки вплинув як на фізико-хімічні показники готових шкір, так і на їх органолептичну оцінку. Нижче наведено характеристика візуальної і тактильної оцінки зразків пергаменту після обробки (рис. 1):

- *група I* – зразки пластичні, приємні на дотик, мають приємний запах та шовковисту лицьову поверхню рівномірного жовтого забарвлення, що можна пояснити емульсійною пластифікацією за допомогою яєчного жовтка, гліцерину та ланоліну; рівномірність зразків по товщині та біле забарвлення бахтарм'яної сторони є наслідком шліфування до та після пластифікації;
- *група II* – зразки шовковисті на дотик, але менш м'які та пластичні, ніж у *групі I*. Після сушіння, як і у *групі I*, шкіри були твердими і непластичними, проте, шліфування бахтарм'яної та лицьової поверхонь після сушіння дозволило вирівняти товщину дерми, покращити поглинання ланолінової емульсії, що позитивно позначилось на пружно-пластичних властивостях шкіри. Подальше парафінування та крейдування лицьової поверхні надало їй приємної матовості;
- *група III* – порівняно зі зразками пергаменту попередніх груп пергамент-транспарант відрізняється прозорістю, надзвичайною м'якістю і пластичністю, що пояснюється особливими умовами його обробки, у тому числі пластифікацією бахтарм'яної сторони гліцерином. Як і в інших групах, бахтарма

має рівномірно біле забарвлення;

- *група IV* – зразки відрізняються тонкістю, абсолютною прозорістю, маслянистістю на дотик, мають білувате забарвлення лицьової та бахтарм'яної поверхонь; парафінування після підсушування по завершенні пластифікації надало шкірам більшої матовості.

Що стосується результатів хімічного аналізу та фізико-механічних випробувань шкіри, то з даних табл. 3 випливає чітка залежність отриманих показників від умов обробки. Так, збільшення витрати мінеральних речовин приводить до збільшення їх вмісту у зразках *груп I* та *II* порівняно з двома іншими групами відповідно на 1,8-2,6 та 3,6-4,4 % абс. Високі показники міцності і температури зварювання шкір можна пояснити зближенням поліпептидних ланцюгів з утворенням численних зв'язків, а також склеюванням елементів мікроструктури продуктами розпаду білка та міжволоконною речовиною.

група I

група II

група III

група IV

Рис. 1. Фотографії лицьової поверхні отриманих зразків пергаменту

Таблиця 3

Характеристика готових шкір

П.ч.	Показник	Група			
		I	***II***	***III***	***IV***
1	Масова частка вологи, %	13,8	14,3	13,3	15,9
2	Масова частка мінеральних речовин, %*	5,3	7,1	3,5	2,7
3	Масова частка голинної речовини, %*	76,4	85,5	77,7	82,6
4	Вміст виплавленої голинної речовини, %	47,2	51,6	47,9	55,8
5	Товщина, мм	0,44	0,50	0,48	0,40
6	Межа міцності при розтягу, 10 МПа	3,94	6,58	2,48	4,93
7	Міцність лицьового шару, 10 МПа	3,82	5,41	2,13	4,24
8	Відносне видовження при напруженні 10 МПа, %	16,0	15,0	18,0	17,3
9	Відносне видовження при розриві, %	41,0	40,5	46,5	33,5
10	Температура зварювання, °С	94	87	93	70
11	Об'ємний вихід, $см^3$/100 г білка	150,4	181,8	227,3	145,9

Примітка: * у перерахунку на абсолютно суху речовину

За результатами спектрофотометричного аналізу виявлено, що вміст виплавленої голинної речовини при двостадійному вапняному золінні становить 47,2 та 51,6 % (*група I* та *група II* відповідно), при сульфідно-вапняному (*група III)* – 47,9 %, а при прискореному (*група IV*) – 55,8 %. Тобто найбільш розпушувальну дію на структуру дерми з усіх задіяних способів зоління чинять способи прискорений (*група IV*) та двостадійний вапняний з більшою витратою вапна (*група II*), найменшу – способи двостадійний вапняний з меншою витратою гідроксиду кальцію (*група I*) та лужно-сульфідний (*група III*). Це корелює з гідротермічною стійкістю колагену (показником температури зварювання) (рис. 2).

Рис. 2. Взаємозв'язок вмісту виплавленої голинної речовини і температури зварювання пергаменту

Слід зазначити, що показники зразків пергаменту *групи II* та *групи IV* відрізняються від інших груп більшим вмістом голинної речовини, визначеним за методом К'єльдаля (це свідчить про більшу збереженість колагену і підтверджується високою міцністю як шкіри в цілому, так і її лицьового шару), а також меншою температурою зварювання (що вказує на руйнування тих зв'язків у структурі дерми, які забезпечують її гідротермічну стійкість, особливо у *групі IV*). Найкраще формування об'єму дерми та пружно-пластичних властивостей при добрій текстурі спостерігається у разі виготовлення пергаменту-транспаранту (*група III*), а найкраща органолептична оцінка та найбільша міцність при достатньо високих інших показниках – у разі пергаменту, призначеного для реставраційних потреб (*група II*).

Висновки

Аналіз літератури виявив потребу у відродженні та удосконаленні виробництва вітчизняного пергаменту. Поєднання різноманітних технологічних прийомів при його виготовленні дозволяє отримати специфічні текстуру та властивості цього унікального шкірматеріалу. Зміна параметрів і послідовності проведення процесів зоління та заключної обробки у вигляді пластифікації, відбілювання і т.і. впливає на формування структури дерми, викликаючи зміну таких важливих її показників як міцність, гідротермічна стійкість та відносне видовження. Експериментально встановлено, що кращими за органолептичною оцінкою та формуванням об'єму дерми при відносно високих показниках хімічного аналізу та фізико-механічних випробувань є зразки пергаменту-транспаранту і пергаменту, призначеному для реставраційних потреб. Отримані результати будуть використані у подальших дослідженнях з удосконалення способів виготовлення пергаменту різного цільового призначення, при цьому планується враховувати всі проблемні питання технологічного ланцюжка: від інтенсифікації та екологізації процесу зоління-зневолошування до підвищення ефективності заключних процесів та операцій.

Література

1. Michele Brown. Parchment-making. – Cornell University Library Conservation, 3rd of April, 2015. URL: https://blogs.cornell.edu/culconservation/2015/04/03/parchment-making.

2. Колесник Т. О. Особливості виготовлення пергаменту / Т. О. Колесник, Н. І. Адакіна, О. А. Андреева, Л. А. Майстренко // Зб. тез II Міжнарод. науково-практ. семінару [«Інноваційні матеріали та технології шкіряно-хутрового виробництва»] (19 листопада 2016 р.). – К. : КНУТД, 2016. – С. 28–29.

3. Киреева В. Н. Средневековый пергамент: сравнительный анализ технологий (по историческим и экспериментальным данным) : автореф. дисс. … канд. культурол. наук / Киреева В. Н. – М., 1998. – 10 с.

4. Дзендзелюк Л. С. Виготовлення пергаменту / Л. С. Дзендзелюк, Л. М. Льода, Ю. С. Стемпіцька // Зб. матеріалів VIII електрон. науков. конф. [«Теорія і практика матеріально-художньої культури»] (20 грудня 2006 р.). – Харків : ХДАДМ, 2006. – С. 17–19.

5. Колесник Т. О. Дослідження способів виготовлення, структури та властивостей шкіряного пергаменту / Т. О. Колесник, О. А. Андреєва, Л. А. Майстренко // Вісник ХНУ. – 2017. – № 2(247) – С. 79–83.

6. British Library Cataloguing in Publication Data: Conservation of leather and related materials: 2nd ed. / [compilers M. Kite, R. Thomson; ser. edits. A. Oddy]. – B. M. Haines. The manufacture of parchment. – Oxford, 2006. – 198 p.

7. Коль Луи. Квасцовое и замшевое дубление / Л. Коль ; под ред. И. Г. Манохина. – М.-Л. : ОНТИ, 1932. – 38 с.

8. Parchment treatments: [compl. W. Newman, A. Quandt]. – Copyright AIC/BPG, 1994. – 65 p.

9. Yusupova M. V. Conservation and Restoration of Manuscripts and Bindings on Parchment: Restaurator // International Journal for the Preservation of Library and Archival Material. – 1980. – Vol.4, Iss.1. – P. 57–69.

10. Badea Elena. Surface Characterization of Parchments by Thermal Microscopy and Unilateral NMR / Elena Badea, Claudiu Şendrea, Cristina Carşote, Lucreţia Miu, Giuseppe Della Gatta : Proceedings of the 6th International Conf. [«ICAMS 2016 Advanced Materials and Systems»] (October 20th-22nd, 2016). – Bucharest, 2016. – P. 535–538.

11. Лабораторный практикум по курсу химии и технологии кожи и меха : для вузов по спец. «Технология кожи и меха» / А. А. Головтеева, Д. А. Куциди, Л. Б. Санкин ; ред. И. П. Страхов. – М. : Легк.

индустрия, 1971. – 284 с.

12. Акопова Е. И. Исследование влияния ферментных препаратов на разрыхление структуры коллагена / Е. И. Акопова, Е. В. Потушинская // Материалы научно-практ. конф. [«Инновации и современные технологии в индустрии моды»] (Новосибир. технолог. ин-т, 12 декабря 2013 г.). – Новосибирск : НГАВТ, 2013. – 265 с.

13. Гурьянова Т. И. Решение экологических проблем при проведении подготовительных процессов кожевенного производства / Т. И. Гурьянова, Е. В. Потушинская // Техническое регулирование : базовая основа качества товаров и услуг. – Шахты, 2008. – С.184–185.

14. А. с. 704990 СССР, МКИЗ С14С 13/00. Способ получения писчего пергамента из шкур / А. М. Игнатов, Л. А. Шлякова, В. Т. Сарычева, М. М. Дорофеев (СССР). – № 2471699/28-12 ; заявл. 29.03.77 ; опубл. 25.12.79, Бюл. № 47.

15. Дзендзелюк Л. С. Реставрация документов на пергаментной основе [Електронний ресурс] / Л. С. Дзендзелюк, Э. Р. Тимошенко, Л. М. Льода. – Режим доступу : http://velib.com/read_book/kollektiv_avtorov/issledovanija_v_konservacii_kulturnogo_nasledija_vypusk_2/l_s_dzendzeljuk_eh_r_timoshenko_l_m_loda_izgotovlenie_pergamenta_i_restavracija_dokumentov_na_pergamentnojj_osnove/

16. Patent 4310328 U.S., Appl. No. 122,041, C14 C1 / 06. Process for liming pelts of animal hides and skins / Inventors: R. Monsheimer, E. Pfleiderer. – Filed: Feb. 19, 1980; Posted: Jan. 12, 1982.

17. Технологія і матеріали виробництва шкіри : навч. посіб. / А. Г. Данилкович, О. Р. Мокроусова, О. А. Охмат ; ред. А. Г. Данилкович. – К. : Фенікс, 2009. – 481 с.

18. Спектрофотометр Ulab 102UV [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://ukranalitika.prom.ua/p304571026-spektrofotometr-ulab-102uv.html.

References

1. Michele Brown. Parchment-making. – Cornell University Library Conservation, 3rd of April, 2015. URL: https://blogs.cornell.edu/culconservation/2015/04/03/parchment-making.

2. Kolesnyk T. O. Osoblyvosti vyhotovlennia perhamentu / T. O. Kolesnyk, N. I. Adakina, O. A. Andreeva, L. A. Maistrenko // Zb. tez II Mizhnarod. naukovo-prakt. seminaru [«Innovatsiini materialy ta tekhnolohii shkiriano-khutrovoho vyrobnytstva»] (19 lystopada 2016 r.). – K. : KNUTD, 2016. – S. 28–29.

3. Kyreeva B. H. Srednevekovyi perhament: sravnytelnyi analyz tekhnolohyi (po ystorycheskym y eksperymentalnym dannym) : avtoref. dyss. … kand. kulturol. nauk / Kyreeva B. H. – M., 1998. – 10 s.

4. Dzendzeliuk L. S. Vyhotovlennia perhamentu / L. S. Dzendzeliuk, L. M. Loda, Yu. S. Stempitska // Zb. materialiv VIII elektron. naukov. konf. [«Teoriia i praktyka materialno-khudozhnoi kultury»] (20 hrudnia 2006 r.). – Kharkiv : KhDADM, 2006. – S. 17–19.

5. Kolesnyk T. O. Doslidzhennia sposobiv vyhotovlennia, struktury ta vlastyvostei shkirianoho perhamentu / T. O. Kolesnyk, O. A. Andreieva, L. A. Maistrenko // Visnyk KhNU. – 2017. – 2(247) – S. 79–83.

6. British Library Cataloguing in Publication Data: Conservation of leather and related materials: 2nd ed. / [compilers M. Kite, R. Thomson; ser. edits. A. Oddy]. – B. M. Haines. The manufacture of parchment. – Oxford, 2006. – 198 p.

7. Kol Luy. Kvastsovoe y zamshevoe dublenye / L. Kol ; pod red. Y. H. Manokhyna. – M.-L. : ONTY, 1932. – 38 s.

8. Parchment treatments: [compl. W. Newman, A. Quandt]. – Copyright AIC/BPG, 1994. – 65 p.

9. Yusupova M. V. Conservation and Restoration of Manuscripts and Bindings on Parchment: Restaurator // International Journal for the Preservation of Library and Archival Material. – 1980. – Vol.4, Iss.1. – P. 57–69.

10. Badea Elena. Surface Characterization of Parchments by Thermal Microscopy and Unilateral NMR / Elena Badea, Claudiu Şendrea, Cristina Carşote, Lucreţia Miu, Giuseppe Della Gatta : Proceedings of the 6th International Conf. [«ICAMS 2016 Advanced Materials and Systems»] (October 20th-22nd, 2016). – Bucharest, 2016. – R. 535–538.

11. Laboratornyj praktikum po kursu himii i tekhnologii kozhi i mekha : dlya vuzov po spec. «Tekhnologiya kozhi i mekha» / A. A. Golovteeva, D. A. Kucidi, L. B. Sankin ; red. I. P. Strahov. – M. : Legk. industriya, 1971. – 284 s.

12. Akopova E. I. Issledovanie vliyaniya fermentnyh preparatov na razryhlenie struktury kollagena / E. I. Akopova, E. V. Potushinskaya // Materialy nauchno-prakt. konf. [«Innovacii i sovremennye tekhnologii v industrii mody»] (Novosibir. tekhnolog. in-t, 12 dekabrya 2013 g.). – Novosibirsk : NGAVT, 2013. – 265 s.

13. Gur'yanova T. I. Reshenie ehkologicheskih problem pri provedenii podgotovitel'nyh processov kozhevennogo proizvodstva / T. I. Gur'yanova, E. V. Potushinskaya // Tekhnicheskoe regulirovanie : bazovaya osnova kachestva tovarov i uslug. – SHahty, 2008. – S.184–185.

14. A. s. 704990 SSSR, MKI3 S14S 13/00. Sposob polucheniya pischego pergamenta iz shkur / A. M. Ignatov, L. A. SHlyakova, V. T. Sarycheva, M. M. Dorofeev (SSSR). – № 2471699/28-12 ; zayavl. 29.03.77 ; opubl. 25.12.79, Byul. № 47.

15. Dzendzelyuk L. S. Restavraciya dokumentov na pergamentnoj osnove [Elektronnij resurs] / L. S. Dzendzelyuk, EH. R. Timoshenko, L. M. L'oda. – Rezhim dostupu : http://velib.com/read_book/kollektiv_avtorov/issledovanija_v_konservacii_kulturnogo_nasledija_vypusk_2/l_s_dzendzeljuk_eh_r_timoshenko_l_m_loda_izgotovlenie_pergamenta_i_restavracija_dokumentov_na_pergamentnojj_osnove/

16. Patent 4310328 U.S., Appl. No. 122,041, C14 C1 / 06. Process for liming pelts of animal hides and skins / Inventors: R. Monsheimer, E. Pfleiderer. – Filed: Feb. 19, 1980; Posted: Jan. 12, 1982.

17. Tekhnolohiia i materialy vyrobnytstva shkiry : navch. posib. / A. H. Danylkovych, O. R. Mokrousova, O. A. Okhmat ; red. A. H. Danylkovych. – K. : Feniks, 2009. – 481 s.

18. Spektrofotometr Ulab 102UV [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : https://ukranalitika.prom.ua/p304571026-spektrofotometr-ulab-102uv.html.

Рецензія/Peer review : 12.12.2017 р. Надрукована/Printed :01.02.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Мокроусова О.Р.

УДК 602.44

С.В. КОНОНЦЕВ, Ю.Р. ГРОХОВСЬКА
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне
Л.А. САБЛІЙ, М.С. КОРЕНЧУК
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИКОРИСТАННЯ ЧЕРЕВОНОГИХ МОЛЮСКІВ ДЛЯ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ НЕРОЗЧИНЕНИХ ЗАБРУДНЕНЬ ОБОРОТНОЇ ВОДИ УЗВ

Дана робота присвячена вирішення проблеми підвищення ефективності мінералізації у спорудах біологічного очищення нерозчинених забруднень оборотної води УЗВ та зниження їх кількості. Відповідно до концепції IMTA найбільш раціональним способом утилізації продуктів метаболізму риб є залучення до процесів очищення води гідробіонтів, здатних трансформувати основні забруднення у власну біомасу. Метою досліджень є визначення біотрансформаційного потенціалу черевоногих молюсків при залученні їх до процесів очищення оборотної води УЗВ. Досліджено динаміку приросту біомаси найбільш перспективних для культивування в очисних спорудах видів – фізи пухирчастої (Physa fontinalis L.) та котушки (Planorbis corneus L.), яка безпосередньо пов'язана з інтенсивністю мінералізації органічних сполук. У процесі метаболізму молюски підвищують рівень мінералізації нерозчинених домішок, що затримуються у біореакторі, та знижують кількість утворених відходів, та нарощують власну біомасу, що є доступним джерелом харчування для риб. У роботі досліджено позитивний вплив укрупнення нерозчинених домішок молюсками, внаслідок чого покращуються їх седиментаційні властивості. Інтенсивність мінералізації органічних сполук молюсками визначається темпами приросту їх біомаси та суттєво залежить від температури води. Враховуючи можливість адаптації досліджуваних видів до показників оборотної води та їх внесок у процеси очищення, раціональним технічним рішенням можна вважати використання молюсків для зниження приросту біоплівки в аеробних біореакторах з інертним волокнистим носієм та мінералізації видалених нерозчинених домішок.

Ключові слова: *очищення води, мінералізація нерозчинених забруднень, УЗВ, черевоногі молюски.*

S.V. KONONTCEV, Y.R. GROKHOVSKA
National University of Water and Environmental Engineering, Rivne
L.A. SABLIY, M.S. KORENCHUK
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

USE OF GASTROPOD MOLLUSKS FOR MINERALIZATION OF RAS CIRCULATING WATER UNDISSOLVED CONTAMINANTS

This article is devoted to solving the problem of improving the mineralization efficiency in biological treatment plants for untreated contaminants in reversible water of RAS and reducing their amount. According to the concept of IMTA, the most rational way of fish metabolism products disposal is to involve hydrobionts in water treatment processes that are able to transform the pollutants into their own biomass. The research purpose is to determine the biotransformation potential of gastropod molluscs in their involvement in the processes of RAS circulating water treatment. The biomass growth dynamics of the most promising species for cultivation in wastewater treatment plants - common bladder snail (Physa fontinalis L.) and great ramshorn (Planorbis corneus L.) - is explored, which is directly related to the mineralization intensity of organic compounds. In the process of metabolism, molluscs increase the mineralization level of solids contaminants that are retained in the bioreactor, and reduce the amount of generated waste. In the paper, the positive effect of undissolved contaminants enlargement by molluscs is investigated, as a result of which their sedimentation properties are improved. The intensity of organic compounds mineralization in molluscs is determined by the growth rate of their biomass and significantly depends on the water temperature. Taking into account the possibility of the studied species adaptation to the indicators of reversible water and their contribution to the purification processes, rational technical solutions can be considered. The molluscs usage is proposed to reduce the growth of biofilms in aerobic bioreactors with an inert fibrous carrier and mineralization of removed insoluble contaminants.

Key words*: water treatment, mineralization of insoluble contaminants, RAS, gastropod molluscs.*

Вступ. Інтенсивні технології вирощування рибницької продукції в установках із замкнутим водопостачанням (УЗВ) дозволяють реалізувати максимальні темпи росту риб за умови якісної годівлі та видалення основних забруднень з оборотної води. Потреба у глибокому очищенні оборотної води пов'язана із токсичною дією на риб власних метаболітів. Нерозчинені забруднення, представлені переважно фекаліями риб та пилоподібними залишками кормів, містять значну кількість органічних речовин. Дрібнодисперсні забруднення (пилоподібні залишки кормів, фрагменти фекалій та агломерацій мікробіоти) характеризуються поганими седиментаційними властивостями. Окрім того, нерозчинені органічні сполуки, що містяться в оборотній воді, здатні до швидкого розкладу та переходу у розчинену форму. Надходження значної кількості органічних сполук у біофільтр-нітрифікатор, у якому відбувається перший етап біологічного очищення за класичною технологією відновлення якості води УЗВ, призводить до витіснення нітрифікуючої мікрофлори та зупинки процесів нітрифікації [1–3]. Тому задачею споруд механічного очищення у традиційній технології очищення оборотної води УЗВ є максимально повне вилучення з води нерозчинених забруднень. Водночас, досягнути ефективного вилучення дрібнодисперсних сполук практично неможливо, що пояснюється порівняно низькими концентраціями завислих речовин та їх властивостями [4]. Оскільки традиційна технологія нітри-денітрифікації характеризується залученням до процесів відновлення якості води лише мікробіоти (гетеротрофні та нітробактерії), її реалізація в умовах УЗВ супроводжується утворенням надмірної кількості твердих відходів з низьким рівнем мінералізації [5–9].

Одним із найбільш перспективних сучасних напрямків аквакультури є концепція інтегрованої

мультитрофічної аквакультури (ІМТА), яка передбачає культивування в одному водному контурі гідробіонтів, здатних споживати продукти метаболізму та залишки кормів основних вирощуваних у аквакультурі об'єктів – риб [10, 11]. Відсутність небезпечних домішок в оборотній воді УЗВ дозволяє розглядати її як розчин поживного субстрату для організмів нижчих рівнів організації, причому найбільш раціональним в умовах таких господарств є культивування в очисних системах організмів, що мають кормову цінність для риб [12, 13].

Постановка завдання. В межах даної роботи вирішували завдання щодо підвищення ефективності мінералізації у спорудах біологічного очищення нерозчинених забруднень оборотної води УЗВ та зниження їх кількості. Відповідно до концепції ІМТА найбільш раціональним способом утилізації продуктів метаболізму риб є залучення до процесів очищення води гідробіонтів, здатних трансформувати основні забруднення у власну біомасу. Серед них для очисних агентів потенційну цінність, як поживних елементів, можуть мати білкові компоненти та фосфоровмісні сполуки [5].

Одними з перспективних очисних агентів, яких можна вирощувати в очисних спорудах в якості субкультури, є черевоногі молюски. Доцільність включення молюсків у процеси відновлення якості води обґрунтовується двома важливими аспектами: зниженням витрат на очищення води та утилізацію утворених відходів, отже зниженням собівартості продукції; а також можливістю використати органічні сполуки, що розглядаються як забруднення води, для трансформації у доступну рибам кормову біомасу. Зрештою, використання кормів, вирощених у процесі відновлення якості води, також приведе до покращення економічних показників діяльності господарства.

Результати дослідження. Досліджені нами представники черевоногих молюсків фіза пухирчаста (*Physa fontinalis*) та котушка (*Planorbis corneus*) характеризуються доброю пристосованістю до умов забрудненої води УЗВ та мають високу кормову цінність. Тому найбільш раціональною є трансформація утворених твердих речовин безпосередньо у біомасу молюсків, оскільки реалізація складного трофічного ланцюга пов'язана із потенційними втратами біомаси з переходом на кожний наступний трофічний рівень. Згідно висновків [12], при поїданні молюсками твердих продуктів обміну риб, вони можуть засвоїти близько половини сполук Нітрогену та Фосфору, що містяться у таких відходах. Водночас, певна частка дрібнодисперсних забруднень, а також розчинені органічні сполуки затримуються у біореакторі лише під час сорбції, – у такому разі первинний етап біологічної трансформації органічної речовини буде здійснено гетеротрофною мікрофлорою біореактора. Якщо її приріст будуть ефективно контролювати молюсками, можна очікувати, що останні також забезпечать додаткову мінералізацію та укрупнення домішок.

Приріст біомаси молюсків в умовах біореактора суттєво залежатиме від наявності поживного субстрату та фізико-хімічних показників води, змінювати які в умовах очисних споруд УЗВ навряд чи було б доцільно. В ході лабораторних досліджень було виявлено, що температурний оптимум для фізи та котушки коливається в межах 20–28°С. Тому при культивуванні тропічних молюсків у тепловодних УЗВ термічний режим відповідатиме оптимальним для даних видів значенням. Водночас, молюски також здатні активно харчуватись та розмножуватись при температурі 14–18°С, яка характерна для оборотної води УЗВ з вирощування осетрових. При культивуванні черевоногих молюсків у інтегрованих з УЗВ комплексах не виникатиме проблем і з газовим складом, адже фізи та котушки мають легеневе дихання. В цілому, фізико-хімічні показники забрудненої води УЗВ будуть задовільними для інтенсивного росту та розмноження даних видів.

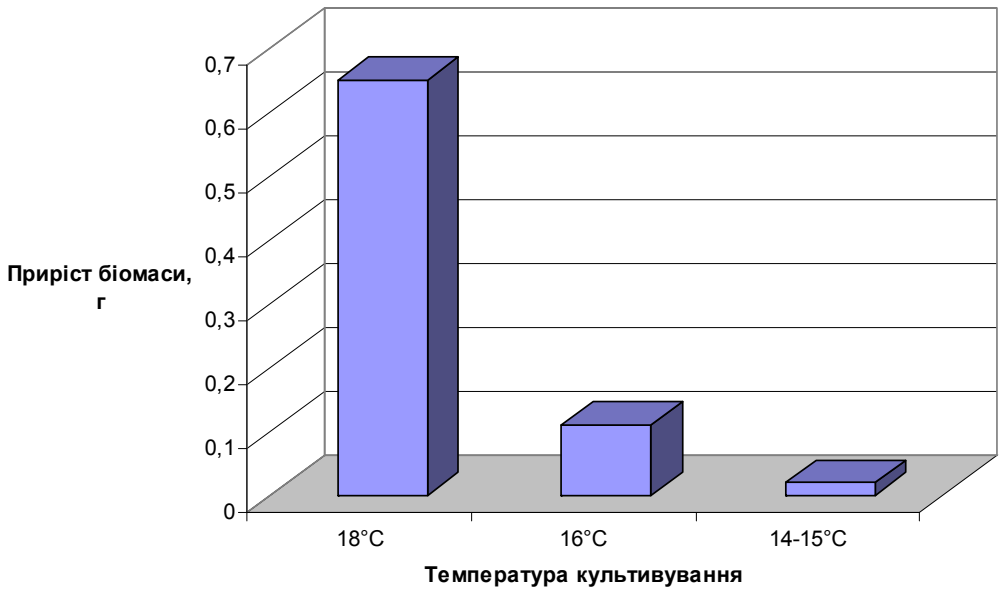


Рис. 1. Залежність приросту біомаси Physa fontinalis від температури води.

Для дослідження темпів росту фізи у культиваторі було відібрано 20 екземплярів вагою близько

0,02 г з приблизними розмірами черепашок: довжина – 4-5 мм, ширина – 3 мм. Температура в акваріумі становила 18°С. Дослід з культивування тривав три тижні (рис. 1). Протягом цього часу сумарна біомаса молюсків збільшилася майже у три рази (від 0,35 г на початку до 1,0 г через три тижні). Середня маса досліджуваної групи молюсків становила 0,05 г. З них 10% відсотків молюсків збільшили вагу у чотири рази (до 0,08 г), 15% молюсків виросли менше ніж у 1,5 рази (0,02-0,03 г). В ході дослідження динаміки росту популяції фізи було виявлено, що час подвоєння біомаси популяції становив близько двох тижнів при культивуванні в акваріумі з температурою води 18°С.

У процесі дослідження популяції фізи, яку культивували у лабораторії при температурі 24–26°С (у акваріумах з підігрівачами), встановлено такі характеристики найбільших екземплярів молюска: довжина черепашки – 11 мм, ширина – 7 мм, вага – 0,12 г, вага тіла без черепашки склала 0,08 г. Для визначення часу подвоєння біомаси при годівлі молюсків в умовах культиватора у три різні акваріуми було поміщено групи молюсків загальною масою 10,01; 5,1 та 2,5 г, відповідно (рис. 2). Годівлю досліджуваних груп здійснювали залишками кормів для риб та детритом, відібраним з акваріумів для утримання представників ряду Сомоподібні. Субстрат вносили кожної доби у кількості, яка перевищує біомасу молюсків на 5–10%. Наприкінці експерименту було визначено час подвоєння біомаси у трьох досліджуваних груп молюсків, який становив 10–11,3 доби.

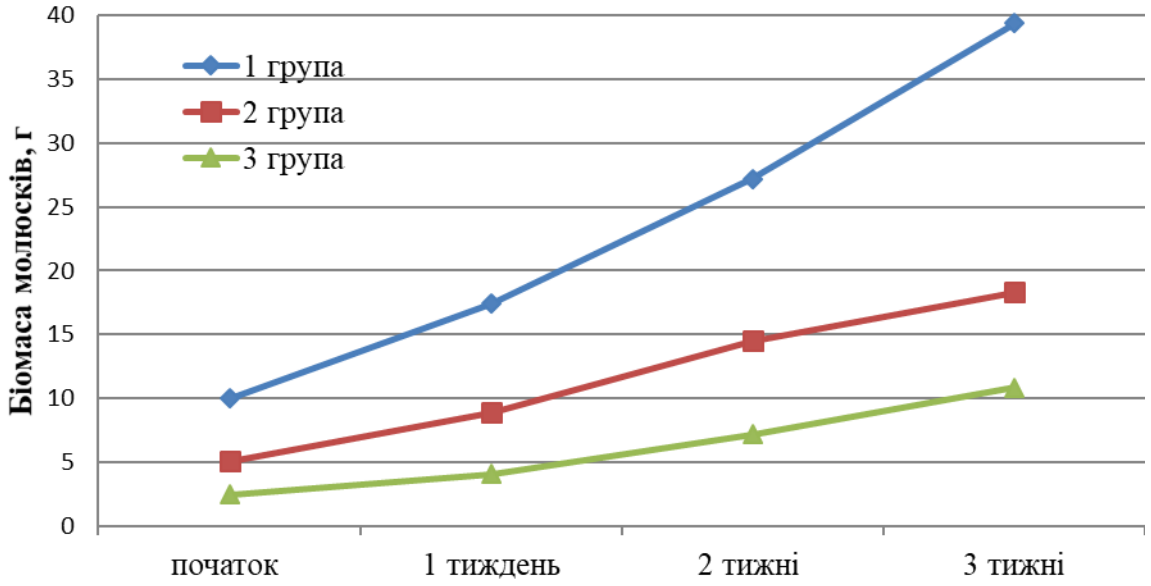


Рис. 2. Динаміка росту Physa fontinalis при температурі води 24–26°С

Основною функцією молюсків у системі мільтитрофічної інтегрованої аквакультури буде мінералізація дрібнодисперсних домішок з одночасним їх укрупненням. Види молюсків, які було обрано для культивування в очисних спорудах, заковтують їжу зішкрібаючи її з твердої поверхні, по якій безпосередньо рухаються. Тому, в біореакторі необхідно забезпечити умови для сорбції забруднень на інертному носієві, по якому можуть добре пересуватись фізи та котушки. Сорбовані дрібнодисперсні та розчинені забруднення на початковому етапі можуть бути трансформовані мікрофлорою, яка буде розвиватись в умовах біореактора. У подальшому, такі агломерації споживатимуть молюски, які будуть звільняти місце на носієві для сорбції нових порцій забруднень. Для забезпечення стабільної роботи біореактора необхідно виконати ряд умов. По-перше, кількість (біомаса) молюсків має бути пропорційною кількості органічних сполук, що затримуються на інертному носієві. У такому разі тверді забруднення будуть повністю спожиті молюсками. Частина органічної речовини буде засвоєна та перейде у біомасу молюсків, неперетравлені і мінералізовані рештки у вигляді фекалій мають бути відведено з біореактора. Тому гідравлічний режим біореактора повинен забезпечити сорбцію основної маси нерозчинених сполук, що містяться у воді, а конструкція споруди має передбачати можливість безперервного відведення твердих продуктів метаболізму молюсків.

Дослідження біотрансформаційного потенціалу молюсків (рис. 3) було здійснено на змішаній групі, що включала приблизно рівні маси фіз та котушок (по 5 г). У раціон молюсків входили детрит та неперетравлені залишки кормів для риб. Кількість детриту, який щодоби вносили в акваріум, змінювалась пропорційно очікуваному зростанню біомаси молюсків – з 5 до 10 г.

В ході досліджень виявлено, що в умовах культиватора при температурі води 24–26°С молюски здатні протягом доби поїдати кількість детриту, що становить 25–40% від їх власної маси. Мінералізовані частки, виділені молюсками в процесі їх утримання в акваріумах, становили 40–50% від об'єму внесеного у систему детриту (рис. 3). Враховуючи те, що з детриту було вилучено значну частину органічних сполук, зольність утворених відходів зросла з 10–12% до 50–65%.

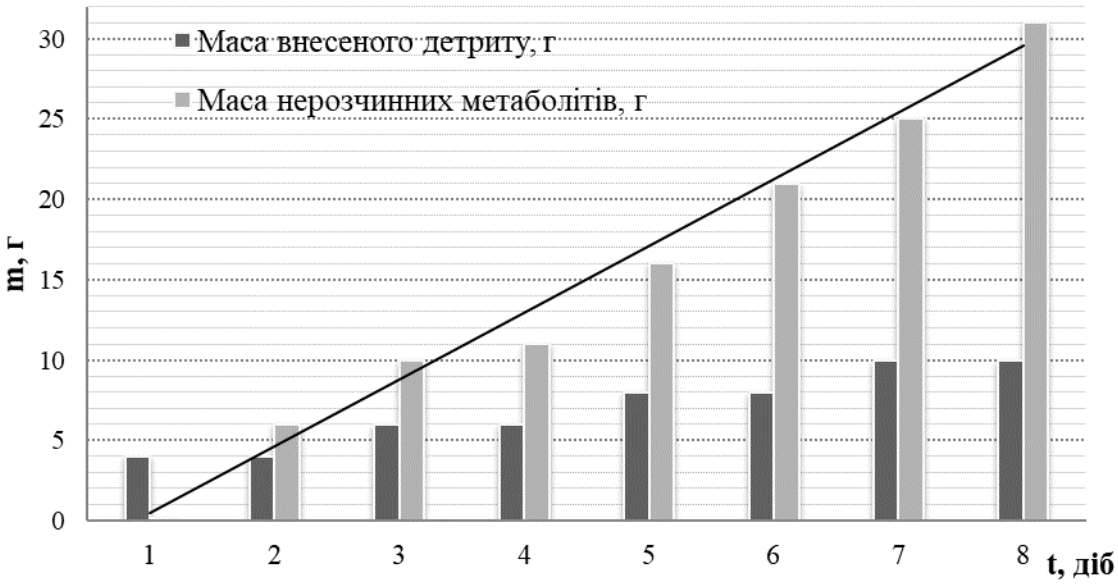


Рис. 3. Динаміка зміни маси (m) внесеного детриту і нерозчинних метаболітів протягом досліджуваного періоду (t)

Окрім приросту біомаси кормових організмів для риб, ще більш вагомим внеском молюсків є укрупнення та мінералізація органічних забруднень, внаслідок чого зросте ефективність їх видалення у відстійниках та знизяться витрати на стабілізацію утворених осадів. Виявлено, що утворені в біореакторі тверді відходи завдяки особливостям метаболізму молюсків володіють значно кращими седиментаційними властивостями (рис. 4), що дозволяє ефективно виводити їх з споруди без влаштування окремого відстійника. Відповідно до результатів попередніх досліджень, при оптимальному температурному режимі фізи та котушки здатні за добу перетравлювати кількість детриту, що становить до 40% від маси їх тіла. Відповідно до потенційного навантаження на блок очищення оборотної води за нерозчиненими сполуками на кожний кілограм згодованого рибам корму у біореакторі потрібно культивувати 550–800 г живої ваги молюсків (фіз або котушок).

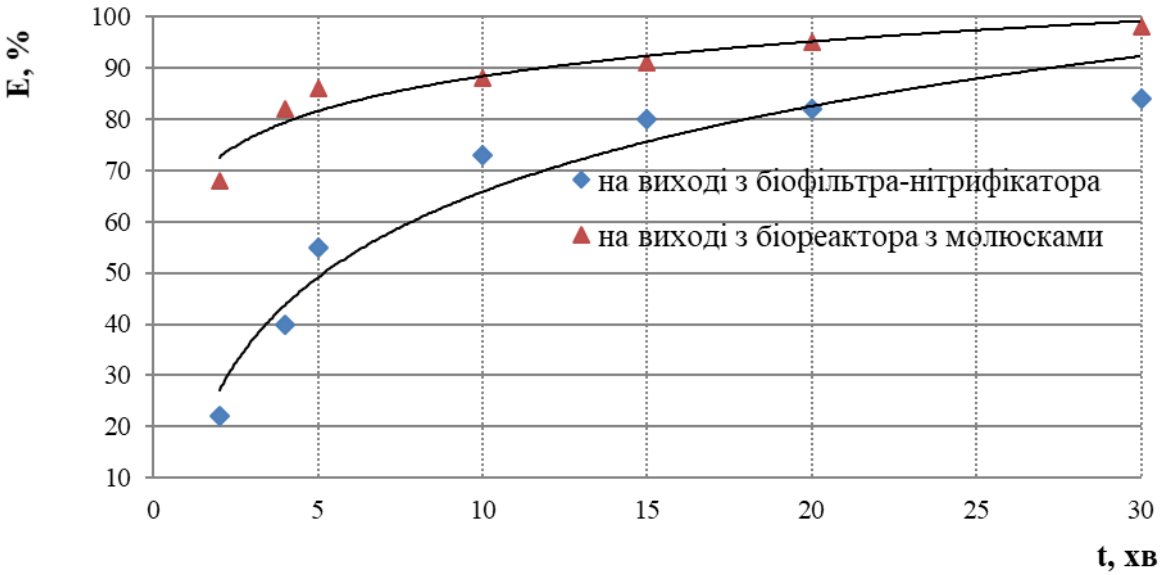


Рис. 4. Ефективність відстоювання (E) утворених у процесі очищення оборотної води нерозчинних метаболітів залежно від тривалості (t)

Висновки. Доцільність залучення черевоногих молюсків до процесів очищення оборотної води УЗВ обумовлена їх здатністю в процесі метаболізму підвищувати рівень мінералізації нерозчинених забруднень, покращувати седиментаційні властивості та трансформувати детрит у доступну рибам біомасу. Інтенсивність мінералізації органічних сполук молюсками визначається темпами приросту їх біомаси та суттєво залежить від температури води. Враховуючи можливість адаптації досліджуваних видів до показників оборотної води та їх внесок у процеси очищення, раціональним технічним рішенням можна вважати використання молюсків для зниження приросту біоплівки в аеробних біореакторах з інертним волокнистим носієм та мінералізації видалених нерозчинених домішок.

Література

1. Michaud L., Blancheton J.P., Bruni V. and Piedrahita R. Effect of particulate organic carbon on heterotrophic bacterial populations and nitrification efficiency in biological filters // Aquacultural Engineering. – 2006. – 34. – pp. 224–233.

2. Tal Y., Watt J.E.M., Schreier S.B., Sowers K.R. and Schreier H.J. Characterization of the microbial community and nitrogen transformation processes associated with moving bed bioreactors in a closed recirculated mariculture system // Aquaculture. – 2003. – 215. – pp. 187–202.

3. Léonard N., Guiraud J.P., Gasset E., Caillères J.P. and Blancheton J.P. Bacteria and nutrients – nitrogen and carbon in a recirculating system for sea bass production // Aquaculture Engineering. – 2002. – 26. – pp. 111–127.

4. Cripps S.J., Kelly L.A. Reductions in wastes from aquaculture. Aquaculture and Water Resource Management / Baird D.J., Beveridge M.C.M., Kelly L.A., Muir J.F., Eds. – Blackwell: Oxford, UK. – 1996. – pp. 166–201.

5. Martins C.I.M., Eding E.H., Verdegem M.C.J., Heinsbroek L.T.N., Schneider O., Blanchetond J.P., Roque E. d'Orbcastel and Verreth J.A.J. / New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability / C.I.M. Martins et al. // Aquacultural Engineering. – 2010. – Volume 43. – Issue 3. – pp. 83–93.

6. Denitrification in recirculating systems: Theory and applications / Jaap van Rijn, Yossi Tal, Harold J. Schreier // Aquacultural Engineering. – 2006. – 34. – pp. 364–376.

7. Rijn J., Rivera G. Aerobic and anaerobic biofiltration in an aquaculture unit-nitrite accumulation as a result of nitrification and denitrification // Aquacult. Eng. – 1990. – № 9. – pp. 217–234.

8. Tsukuda S. Heterotrophic denitrification of aquaculture effluent using fluidized sand biofilters / Scott Tsukuda, Laura Christianson, Alex Kolb, Keiko Saito, Steven Summerfelt // Aquacultural Engineering. – 2015. – Volume 64. – pp. 49–59.

9. Lee P.G. Denitrification in aquaculture systems: an example of fuzzy logic control problem / P.G. Lee, R.N. Lea, E. Dohmann, W. Prebilsky, P.E. Turk, H. Ying, J.L. Whitson // Aquacult. Eng. – 2000. – 23. – pp. 37–59.

10. Ariel E. Turcios, Jutta Papenbrock. Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents – What Can We Learn from the Past for the Future? // Sustainability. – 2014. – 6. – pp. 836–856.

11. Neori A., Ragg N.L.C., Shpigel M. The integrated culture of seaweed, abalone, fish and clams in modular intensive land-based systems: Performance and nitrogen partitioning within an abalone (Haliotis tuberculata) and macroalgae culture system // Aquacult. Eng. – 1998. – 15. – pp. 215–239.

12. Crab R., Avnimelech Y., Defoirdt T., Bossier P., Verstraete W. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production // Aquaculture. – 2007. – 270. – pp. 1–14.

13. Саблій Л.А. Реалізація концепції системи інтегрованої мультитрофічної аквакультури у прісноводних рибницьких господарствах з замкнутим водозабезпеченням / Л.А. Саблій, М.С. Коренчук, С.В. Кононцев, Ю.Р. Гроховська // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2017. – № 5. – С. 89–93.

References

1. Michaud L., Blancheton J.P., Bruni V. and Piedrahita R. Effect of particulate organic carbon on heterotrophic bacterial populations and nitrification efficiency in biological filters // Aquacultural Engineering. – 2006. – 34. – pp. 224–233.

2. Tal Y., Watt J.E.M., Schreier S.B., Sowers K.R. and Schreier H.J. Characterization of the microbial community and nitrogen transformation processes associated with moving bed bioreactors in a closed recirculated mariculture system // Aquaculture. – 2003. – 215. – pp. 187–202.

3. Léonard N., Guiraud J.P., Gasset E., Caillères J.P. and Blancheton J.P. Bacteria and nutrients – nitrogen and carbon in a recirculating system for sea bass production // Aquaculture Engineering. – 2002. – 26. – pp. 111–127.

4. Cripps S.J., Kelly L.A. Reductions in wastes from aquaculture. Aquaculture and Water Resource Management / Baird D.J., Beveridge M.C.M., Kelly L.A., Muir J.F., Eds. – Blackwell: Oxford, UK. – 1996. – pp. 166–201.

5. Martins C.I.M., Eding E.H., Verdegem M.C.J., Heinsbroek L.T.N., Schneider O., Blanchetond J.P., Roque E. d'Orbcastel and Verreth J.A.J. / New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability / C.I.M. Martins et al. // Aquacultural Engineering. – 2010. – Volume 43. – Issue 3. – pp. 83–93.

6. Denitrification in recirculating systems: Theory and applications / Jaap van Rijn, Yossi Tal, Harold J. Schreier // Aquacultural Engineering. – 2006. – 34. – pp. 364–376.

7. Rijn J., Rivera G. Aerobic and anaerobic biofiltration in an aquaculture unit-nitrite accumulation as a result of nitrification and denitrification // Aquacult. Eng. – 1990. – № 9. – pp. 217–234.

8. Tsukuda S. Heterotrophic denitrification of aquaculture effluent using fluidized sand biofilters / Scott Tsukuda, Laura Christianson, Alex Kolb, Keiko Saito, Steven Summerfelt // Aquacultural Engineering. – 2015. – Volume 64. – pp. 49–59.

9. Lee P.G. Denitrification in aquaculture systems: an example of fuzzy logic control problem / P.G. Lee, R.N. Lea, E. Dohmann, W. Prebilsky, P.E. Turk, H. Ying, J.L. Whitson // Aquacult. Eng. – 2000. – 23. – pp. 37–59.

10. Ariel E. Turcios, Jutta Papenbrock. Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents – What Can We Learn from the Past for the Future? // Sustainability. – 2014. – 6. – pp. 836–856.

11. Neori A., Ragg N.L.C., Shpigel M. The integrated culture of seaweed, abalone, fish and clams in modular intensive land-based systems: Performance and nitrogen partitioning within an abalone (Haliotis tuberculata) and macroalgae culture system // Aquacult. Eng. – 1998. – 15. – pp. 215–239.

12. Crab R., Avnimelech Y., Defoirdt T., Bossier P., Verstraete W. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production // Aquaculture. – 2007. – 270. – pp. 1–14.

13. Sablii L.A. Realizatsiia kontseptsii systemy intehrovanoi multytrofichnoi akvakultury u prisnovodnykh rybnytskykh hospodarstvakh z zamknutym vodozabezpechenniam / L.A. Sablii, M.S. Korenchuk, S.V. Konontsev, Yu.R. Hrokhovska // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences. – 2017. – Issue 5. – P. 89–93.

Рецензія/Peer review : 26.11.2017 р. Надрукована/Printed :04.02.2018 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК 632.382: 620.179.4

С.Л. ГОРЯЩЕНКО, С.А. КАРВАН
Хмельницький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО РОЗПИЛЮВАЧА

Анотація. В статті розглядається модель розпилювача, що оснащена ультразвуковим концентратором для подрібнення рідини (розплаву полімеру). Проведено аналіз ультразвукової дії на потік рідини з урахуванням його розпилення в повітрі. Наведені математичні моделі залежності довжини хвилі від амплітуди та фізичних складових полімеру. Розроблена модель показала рух кавітаційних елементів вздовж лінії розпилення та дозволила визначити швидкість руху потоку та масу краплин, що утворюються.

Ключові слова: полімерні покриття, пристрої для нанесення, моделювання

S. HORIASHCHENKO, S. KARVAN
Khmelnytskyi National University

MODELING THE ULTRASONIC SPRAYER

Abstract*. The article considers the model of a sprayer equipped with an ultrasonic concentrator for grinding a liquid (molten polymer). An analysis of the ultrasonic effect on the fluid flow has been carried out, taking into account its spraying in the air. The mathematical models of the dependence of wave length on amplitude and physical components of a polymer are given. The developed model showed the motion of cavitation elements along the line of spraying and allowed to determine the velocity of the flow and the mass of the resulting droplets.*

Keywords: *polymer coatings, devices for coating, modeling*

Вступ

При всьому різноманітті існуючих підходів, питання інтенсифікації процесів технології нанесення покриттів найбільш ефективно вирішуються за рахунок використання нових видів енергії і високоефективного підведення енергії до взаємодіє речовин. Багаторічні дослідження [1-4] показали, що одним з перспективних напрямів створення нових і інтенсифікації існуючих процесів хімічних і суміжних технологій є використання енергії ультразвукових (УЗ) коливань високої інтенсивності. На сьогоднішній день основною проблемою застосування ультразвукового впливу є низька ефективність більшості процесів, особливо необхідних для виробництв, що пред'являють підвищені вимоги до характеристик кінцевого продукту, оскільки немає наукових основ для оптимізації режимів ультразвукового впливу в залежності від широкого діапазону властивостей і характеристик оброблюваних середовищ.

При цьому, експериментальні дослідження скрутні, тому найбільш доцільним підходом до оптимізації ультразвукового впливу на технологічні середовища є використання методів математичного моделювання.

Основна частина

Незважаючи на все різноманіття процесів, що здійснюваних під дією УЗ коливань, можна виділити загальні підходи до розгляду УЗ впливу на різні середовища. Загальна модель ультразвукового пристрою для розпилення речовин на різні технологічні об’єкти була розроблена та змодельована, представлена на рис.1. Згідно представленої моделлю, УЗ вплив здійснюється наступним чином. Випромінювач здійснює безпосереднє введення механічних коливань УЗ частоти в активне середовище з метою зміни структури і властивостей матеріалу активного середовища за рахунок різних фізичних ефектів, як правило, обумовлених наявністю гетерогенних включень в оброблюваної середовищі (кавітаційних зародків або дисперсних частинок твердої або рідкої фази). У рідини під впливом потужних УЗ коливань виникає кавітація, яка супроводжується періодичними ударними хвилями при захлопанні кавітаційних бульбашок. Ударні хвилі приводять до руйнування водневих зв’язків (процес деполімеризації), диспергуванню твердих наночастинок в рідини, а також прискоренню за рахунок руйнування молекулярних зв’язків хімічних реакцій синтезу різних полімерів і отримання з природних полімерів цінних низькомолекулярних речовин [1,5], інтенсифікації процесів розчинення і екстрагування [1]. Створюване звуковий тиск в газовому середовищі, що містить частинки дрібної дисперсної фази, призводить до коагуляції цих частинок.

Активне середовище, як правило, обмежена пасивним середовищем (тверде тіло або газ, що межує з вільною поверхнею рідини). Наявність пасивної середовища може обумовлювати ряд фізичних ефектів на кордоні «активна-пасивна середовище», пов'язаних з особливостями агрегатного стану активного середовища. Зокрема, під впливом ударних хвиль при захлопанні кавітаційних бульбашок в активній рідкому середовищі відбувається виникнення капілярних хвиль на поверхні рідини, що межує з пасивної газовим середовищем, які збільшують поверхню розділу фаз, тим самим прискорюючи процес абсорбції газів рідинами. В тонких шарах рідини (до 2 мм) поверхневі фізичні ефекти проявляються найбільш інтенсивно, оскільки ударна хвиля проходить малі відстані, зберігши достатньо велику амплітуду тиску (кілька десятків атмосфер) на кордоні розділу активне-пасивне середовище. Через великі амплітуд тиску ударної хвилі відбувається значне зростання амплітуди капілярних хвиль, яке призводить до розпаду гребню хвилі на окремі краплі, викликаючи тим самим розпилення рідини [1-3,7]. Залежно від виду активної і

пасивної середовищ основні процеси, що реалізуються і інтенсифікуються за допомогою УЗ коливань, можна розділити на чотири основні підгрупи: процеси в середовищах «рідина-тверде тіло» (рідке активне середовище і тверде пасивне), «рідина-газ» , «газ-тверде тіло», «тверде тіло-тверде тіло» (обробка, зварювання, різання і т. д.).

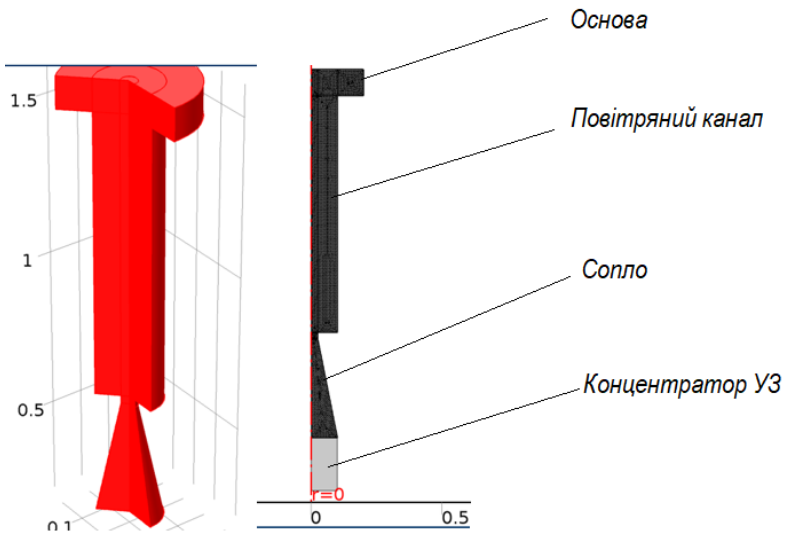


Рисунок 1 – Модель ультразвукового нанесення покриттів

В роботі розглядаються фізичні процеси в активних газових і рідких середовищах, які найменш вивчені в аспекті нанесення покриттів.

Запропонований підхід до оптимізації полягає в дослідженні випромінювання, поширення коливань і їх взаємодії з гетерогенними включеннями в активному середовищі, а також відображення і перетворення енергії коливань на кордоні активного і пасивного середовища. Останній етап полягає у визначенні критеріїв оптимальності процесів в залежності від інтенсивності виникають фізичних ефектів, розглянутих на попередніх етапах. З огляду на відмінності агрегатного стану активної і пасивної середовищ необхідно детальне математичного опис кожного процесу в рамках даного підходу.

Ультразвукові коливання в активних рідких середовищах зважаючи на високий хвильовий опір рідин мають більшу інтенсивність. Тому вони викликають розширення і захлопання гетерогенних складових - кавітаційних бульбашок з утворенням ударних хвиль, які здійснюють вплив на молекулярному рівні для реалізації процесів деполімеризації, диспергування, емульгування і ін. Технологічні процеси в рідких середовищах проходять головним чином в режимі розвиненою кавітації [1]. Пасивна середовище, тобто стінки технологічного обсягу, призводить до відбиття коливань, тим самим реалізуючи режим стоячих хвиль. При цьому відображають явища призводять до більш рівномірного розподілу розвинених кавітаційних зон, на відміну від необмежених обсягів, де вся кавітаційна хмара зосереджена поблизу випромінювача, таким чином, ефективність кавітаційної обробки підвищується.

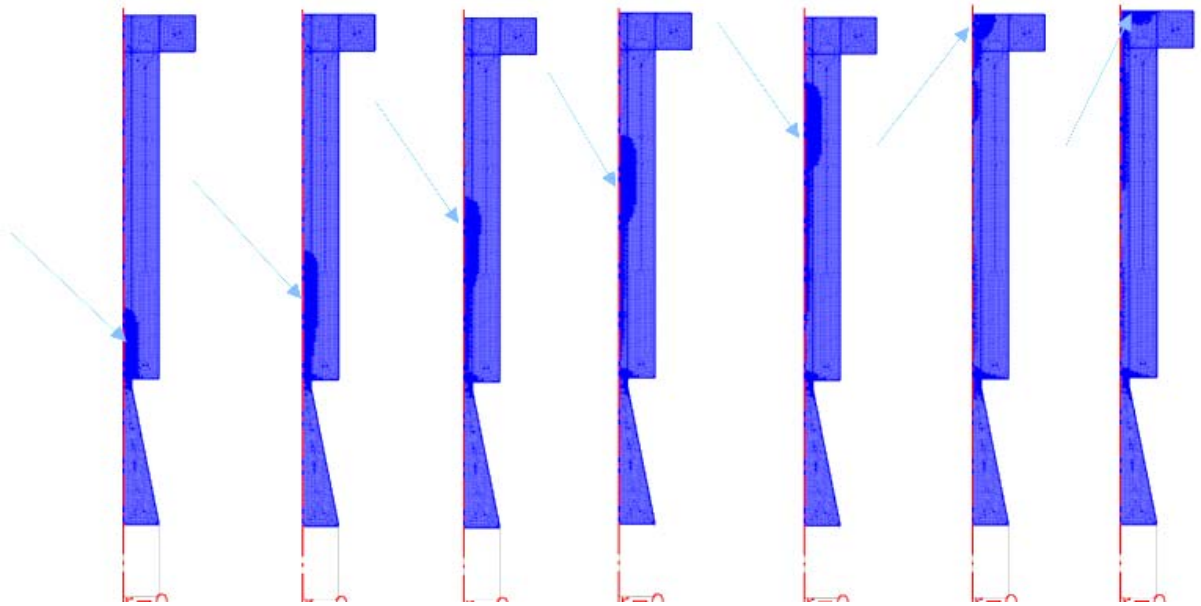


Рисунок 2 – Моделювання руху потоку бульбашок вздовж лінії розпилення

Розроблена модель максимізації розвиненою кавітаційної області вперше враховує вплив в'язкості рідини, притому що залежить від швидкості деформації, на інтенсивність кавітації.

Моделювання ультразвукового впливу на активне рідке середовище, що обмежене пасивним твердим середовищем показано на рисунку 2. Стрілкою показано рух кавітаційної бульбашки.

На першому етапі виявляється інтенсивність впливу, достатня для досягнення режиму розвиненою кавітації. З використанням запропонованої моделі в'язких рідин проведена оптимізація інтенсивностей впливу при частоті акустичних коливань, що дорівнює 22 кГц, найбільш часто використовувана в сучасних ультразвукових апаратах [1]. Отримані результати показали, що чисельні показники інтенсивності, при якій в рідкому середовищі настає «розвинений» кавітаційний процес, залежать головним чином від в'язкості рідини, наприклад, для води і спирту дане значення становить не більше 5 Вт / см2, для рідин в діапазоні в'язкості 80 ... 100 сПЗ - 6..8 Вт / см2, а для високов'язких рідин (більш 400 сПЗ) - більше 25 Вт / см2.

Для оптимізації процесів в рідких середовищах, обмежених пасивної газовим середовищем, необхідна розробка моделі, що дозволяє визначити профіль утворених капілярних хвиль в залежності від тиску ударної хвилі, що виникає при схлопуванні кавітаційних бульбашок. Щоб визначити ступінь розвиненості кавітації і тиск ударної хвилі, необхідно використовувати розроблену модель і отримані залежності для оптимізації ультразвукових технологічних процесів в рідких середовищах, обмежених твердими пасивними середовищами. Для довжини капілярної хвилі і її амплітуди А є наступні вирази [7]:

$$(\omega - i\beta)^2 \rho\left(1 - \frac{\lambda^2 \rho(i\omega+\beta)}{8\pi^2\mu}\right)\frac{\lambda}{2\pi} - 4(i\omega+\beta)\frac{2\pi}{\lambda}\left(-1 + \frac{\lambda^2\rho(i\omega+\beta)}{4\pi^2\mu}\right) = -i\sigma\frac{\rho(\omega - i\beta)}{2\mu},$$

де μ - в'язкість, ρ - щільність рідини, σ - поверхневий натяг, β - декремент загасання.

Представлена модель дозволить визначити основні критерії оптимальності процесів абсорбції (кратність збільшення поверхні розділу фаз) і розпилення, продуктивність і діаметр крапель в залежності від властивостей оброблюваних середовищ.

Кратність збільшення поверхні розділу фаз α при абсорбції можливо оцінити на підставі наступного отриманого виразу в залежності від довжини і амплітуди капілярної хвилі:

$$\alpha = \frac{\int_0^{\frac{\lambda}{2}} 8x\partial x\sqrt{1+\left(\frac{2\pi A}{\lambda}\right)^2 \sin^2\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)}}{\lambda^2} \approx \frac{4A}{\pi\lambda}\left[\int_0^{\pi} s\sin(s)\partial s\right] = \frac{4A}{\lambda}.$$

Відповідно до отриманої висловом встановлено, що ультразвукова дія дозволить збільшити поверхню розділу фаз і, отже, прискорити процес абсорбції до 3-х разів. Для профілю капілярної хвилі отримано такий вираз з урахуванням обурення 2-го порядку:

$$\xi(x,t) \approx A\sin(\omega t)\left(\cos(kx) - \left(\frac{Ak}{3}\cos(2kx) + 2Ak\right)\cos(\omega t)\right).$$

Середній діаметр крапель визначається середньою товщиною гребню капілярної хвилі на основі теорії розпаду струменів Релея:

$$D = 3{,}78\frac{\int_0^{\frac{\lambda}{2}}\left(\xi(x) - \xi\left(\frac{\lambda}{2}\right)\right)\partial x}{\xi(0) - \xi\left(\frac{\lambda}{2}\right)}.$$

Для продуктивності розпилення отримано такий вираз:

$$\Pi = aVf\mathrm{N_S} = aVf\mathrm{N_S} = a\frac{\lambda^2 A}{2\pi}\left(\frac{\pi^2}{2} - 2\right)f\mathrm{N_S};$$

де N_S – кількість капілярних хвиль на одиниці площі поверхні, яке приймається рівною кількості кавітаційних бульбашок, f - частота коливань робочого інструмента, а - поправочний коефіцієнт, що означає частку обсягу капілярної хвилі, що розпадається на краплі, V – об'єм рідини, що розпилюється.

Результати моделювання

Сам процес був змодельований з урахування розпилення полімерної рідини в повітрі на плоску деталь. На рис.3 представлено розрахунки визначення швидкості розпилення, а на рис.4 – визначення маси краплин, що розпилюються.

Моделювання утворення та руху частинок полімеру показано на рис.5. Видно, як відбувається розширення потоку полімеру та його взаємодія з оточуючим середовищем.

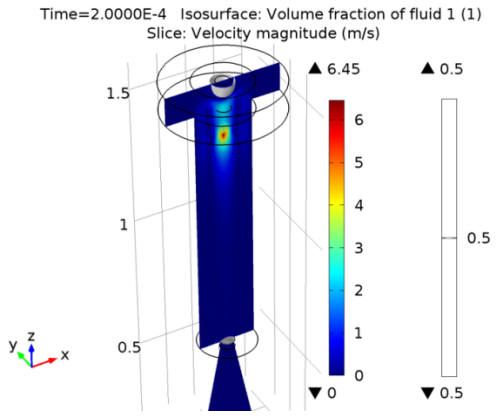


Рисунок 3 – Визначення швидкості розпилення краплин

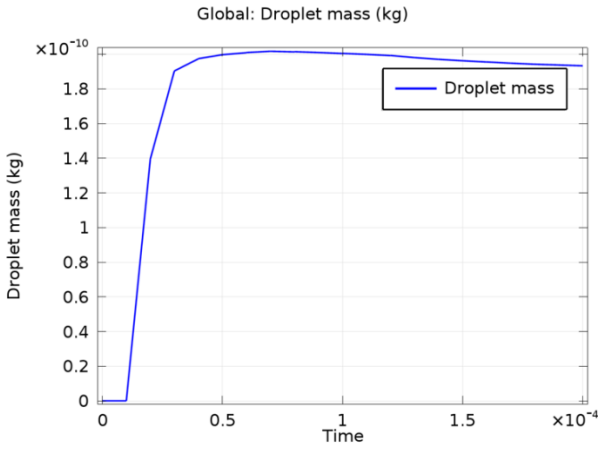


Рисунок 4 – Визначення маси краплин

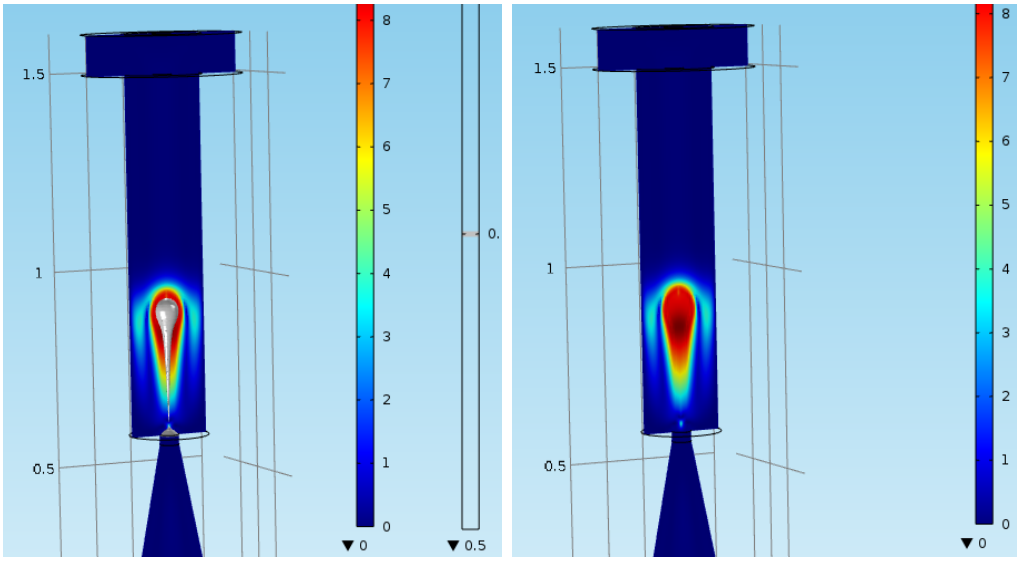


Рисунок 5 – Утворення краплини полімеру та її рух

Висновки

Згідно з отриманими результатами оптимальними параметрами розроблюваного обладнання будуть:

- створюваний рівень звукового тиску в газодисперсному середовищі не менше 120 дБ;
- діапазон оптимальних частот ультразвукового впливу від 50 до 80 кГц в залежності від типу і властивостей полімеру, що розпилюється.

В результаті аналізу фізичного механізму взаємодії в різних середовищах були встановлені режими акустичного впливу, що забезпечують реалізацію з максимальною ефективністю (продуктивністю) для процесів, що відбуваються під час розпилення полімерної рідини ультразвуковим розпилювачем. Отримано значення краплин рідини.

Література

1. Хмелев, В.Н. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве [Текст] / В.Н. Хмелев, Г.В. Леонов, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов. – Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2007. – 414 с.

2. Хмелев, В.Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203 с.

3. Sheng, C.D. Modelling Acoustic Agglomeration Processes Using Direct Simulation Monte Carlo Method [Текст] / C.D. Sheng, X.L. Shen // Journal of Aerosol Science. – 2006. – Issue 37. – P. 16–36.

4. Vytautas Ostasevicius, Vytautas Jurenas, Rimvydas Gaidys, Ievgeniia Golinka/ Vibroacoustic handling and levitation of microparticles in air/ JVE International Ltd. Vibroengineering PROCEDIA. Dec 2017, Vol. 15. ISSN 2345-0533 h/100-105

5. Serhiy Horyashchenko, Ievgeniia Golinka. Simulation of particle flow of the polymer droplets using ultrasonic spraying / 22th International Scientific Conference: Mechanika 2017 – Proceedings. Kaunas. P.134-137.

6. Горященко С.Л. Моделювання краплин при розпиленні двофазного потоку соплом. Вісник ХНУ,

т.3, 2016, с 282-285

7. Numerical study on the effect of nozzle pressure and yarn delivery speed on the fiber motion in the nozzle of Murata vortex spinning/ Journal of Fluids and Structures 27 (2011) 121–133.

References

1. Khmelev, V.N. Ul'trazvukovыe mnohofunktsyonal'nыe y spetsyalyzyrovannыe apparatы dlya yntensyfykatsyy tekhnolohycheskykh protsessov v promыshlennosty, sel'skom y domashnem khozyaystve [Tekst] / V.N. Khmelev, H.V. Leonov, R.V. Barsukov, S.N. Tsыhanok, A.V. Shalunov. – Alt. hos. tekhn. un-t, BTY. – Byysk: Yzd-vo Alt. hos. tekhn. un-ta, 2007. – 414 s.

2. Khmelev, V.N. Prymenenye ul'trazvuka vysokoy yntensyvnosty v promыshlennosty / V.N. Khmelev, A.N. Slyvyn, R.V. Barsukov, S.N. Tsыhanok, A.V. Shalunov; Alt. hos. tekhn. un-t, BTY. – Byysk: Yzd-vo Alt. hos. tekhn. un-ta, 2010. – 203 c.

3. Sheng, C.D. Modelling Acoustic Agglomeration Processes Using Direct Simulation Monte Carlo Method [Tekst] / C.D. Sheng, X.L. Shen // Journal of Aerosol Science. – 2006. – Issue 37. – P. 16–36.

4. Vytautas Ostasevicius, Vytautas Jurenas, Rimvydas Gaidys, Ievgeniia Golinka/ Vibroacoustic handling and levitation of microparticles in air/ JVE International Ltd. Vibroengineering PROCEDIA. Dec 2017, Vol. 15. ISSN 2345-0533 h/100-105

5. Serhiy Horyashchenko, Ievgeniia Golinka. Simulation of particle flow of the polymer droplets using ultrasonic spraying / 22th International Scientific Conference: Mechanika 2017 – Proceedings. Kaunas. P.134-137

6. S.L. Horyashchenko Modelyuvannya kraplyn pry rozpylenni dvofaznoho potoku soplom. Visnyk KhNU, t.3, 2016, s 282-285

7. Numerical study on the effect of nozzle pressure and yarn delivery speed on the fiber motion in the nozzle of Murata vortex spinning/ Journal of Fluids and Structures 27 (2011) 121–133.

Рецензія/Peer review : 22.11.2017 р. Надрукована/Printed :08.02.2018 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

UDC 535.34

O. MACHULIANSKYI
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

OPTICAL CHARACTERISTICS OF NANODIMENSIONAL PARTICLES OF CHROME

In this paper the results of experimental studies of complex specific polarizability of the nanosized particles of chrome with sizes that are less than 10 nm in the optical range are presented. Experimental spectral and dimensional dependences of real and imaginary parts of the complex specific electrical polarizability of nanosized particles of chrome were obtained with the use of an improved experimental-analytical method for systems with a statistically inhomogeneous structure. Method is based on experimental spectrophotometric and electron microscopic measurements on a two-dimensional system (islet films) with a statistically inhomogeneous structure and also on analytical solution of the inverse problem of the spectrophotometric system of Rosenberg's equations. Within the framework of the experimental-analytical approach, spectrophotometric measurements of coefficients of transmission and reflection of nanosized chrome films in the wavelength range 0.2 ÷ 1.1 μm were performed. Electron microscopic studies have shown that nanoscale chrome films on a quartz substrate have islet statistically inhomogeneous structure, and shape of islet particles is close to spherical. The analysis of the particle size distribution statistics based on the Pearson's chi-squared test has shown that nanosized particles of chrome have a diameter D_0 = 2.5 ÷ 6.5 nm. The increase to one order of the values of the complex specific polarizability of chrome nanoparticles with a decrease in their diameter in the optical range 0.2 ÷ 1.1 μm and in comparison with corresponding values that characteristic to the macroscopic volume chrome is established. The experimental data on dimensional dependences of optical parameters of chrome nanoparticles are of practical interest for the development of nanocomposite systems with preset optical characteristics. As well as optimization of the parameters of functional devices created on their basis, which find practical application, in optoelectronics for light control, in systems of save, transmission and protection of information, in energy-saving technologies.

Keywords: nanosized chrome particles, electrical polarizability, experimental-analytical method.

О. МАЧУЛЯНСЬКИЙ
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

ОПТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОРОЗМІРНИХ ЧАСТИНОК ХРОМУ

Із застосуванням вдосконаленого експериментально-аналітичного методу для систем зі статистично неоднорідною структурою отримані експериментальні спектральні та розмірні залежності дійсної і уявної частин комплексної питомої електричної поляризованості нанорозмірних частинок хрому. Метод заснований на експериментальних спектрофотометричних і електронно-мікроскопічних вимірюваннях на двомірній системі (острівкові плівки) зі статистично неоднорідною структурою та аналітичному розв'язанні зворотної задачі спектрофотометричної системи рівнянь Розенберга. В рамках експериментально-аналітичного підходу проведені спектрофотометричні вимірювання коефіцієнтів пропускання та відбивання нанорозмірних плівок хрому в діапазоні довжин хвиль 0,2 ÷ 1,1 мкм. Електронно-мікроскопічні дослідження показали, що нанорозмірні плівки хрому на кварцовій підкладці мають острівкову статистично неоднорідну структуру, а форма частинок-острівців близька до сферичної. За допомогою аналізу статистики розподілу частинок за розмірами на основі критерію узгодження Пірсона визначено, що нанорозмірні частинки хрому мають діаметр D_0 = 2,5 ÷ 6,5 нм. Встановлено зростання до одного порядку величини значень комплексної питомої поляризованості наночастинок хрому при зменшенні їх діаметра в оптичному діапазоні спектру 0,2 ÷ 1,1 мкм та в порівнянні з відповідними величинами характерними для макроскопічного об'єму хрому. Отримані експериментальні дані про розмірні залежності оптичних параметрів наночастинок хрому представляють практичний інтерес для розробки нанокомпозитних систем з заданими оптичними характеристиками. А також оптимізації параметрів створених на їх основі функціональних пристроїв, які знаходять практичне застосування, в оптоелектроніці для управління світлом, в системах зберігання, передачі та захисту інформації, в енергозберігаючих технологіях.

Ключові слова: нанорозмірні частинки хрому, електрична поляризованість, експериментально-аналітичний метод.

Introduction. Nanosized metal particles and nanocomposite systems on their basis have a number of nonlinear optical effects that are practical for light control in optoelectronics, systems for saving, transmitting and protecting information, highly effective physical sensors, energy-efficient devices (photoelectric and photothermal energy converters) in energy-saving technologies [1-4]. Such systems can be implemented as monolayers of nanosized metal particles (two-dimensional structures) or chaotically distributed particles in a dielectric matrix (three-dimensional structures) [5]. Nanocomposite systems containing nanosized particles of chrome, distributed in a transparent dielectric matrix, are of particular interest. Preliminary estimates have shown that such two-phase nanocomposite structures, in their characteristics, surpass the complex traditional multilayer systems [6].

From the point of view of the optical properties of nanosized metal particles, it is very important that the optical parameters (electrical polarizability $\alpha = \alpha_1 \square i\alpha_2$, dielectric permittivity $\varepsilon = \varepsilon_1 \square i\varepsilon_2$, etc.) become dimensionally dependent and differ from the corresponding characteristics of metals in a massive state when their size is reduced below a certain value [7]. At the same time, the mechanisms of optical absorption in such metal-dielectric systems are not yet sufficiently studied. In particular, the role of dimensional dependencies of the optical parameters of a single metal particle in the absorption of nanostructured systems has not yet been clarified [8]. It is

worth noting that the experimental data on α, ε nanosized metal particles are extremely limited [6, 9] or are presented for the case of a number of restrictions on the microstructure of nanodisperse systems. Therefore, as a rule, applied and fundamental tasks of developing nanocomposite systems and optimizing the characteristics of functional devices created on their basis decide on condition of identity ε of nanosized metal particle to dielectric permittivity of the appropriate metals in macroscopic volumes [5, 10, 11]. There are often significant differences between the calculated and experimental optical parameters of nanostructural systems [6], which raise the question of the adequacy of their prediction.

In [12], a method for determining the experimental values of the complex specific electric polarizability of a spherical metal particle was developed and used for systems with a statistically homogeneous structure. This method establishes the relationship between the response of the two-dimensional system to electromagnetic effects with the parameters of the microstructure of the system (concentration, particle size) and the electromagnetic parameter of the nanosized particle (electric polarizability) [13]. It should be noted that the application of this method does not require (unlike other known methods) to apply additional model ideas about the electromagnetic response of a nanosized metal particle [14, 15]. An increase in the real α_1 and imaginary α_2 part of the complex specific electrical polarizability of the nanosized particles of chrome with a decrease in the size of particles in the spectral range of wavelengths $\lambda = 0.4 \div 1.1$ μm was found, using this method to the system of "islet film of chrome on a glass substrate" (selected on the criterion for the normal distribution of particles by size) [6, 9].

It should be noted that in [6, 9] the microstructure of the islet system and the particle size are evaluated formally under the condition of a normal particle size distribution. This approach is fully justified for systems with a statistically homogeneous structure, for example, for islet films with a weight thickness up to 1 nm and a low concentration of nano-islands. For systems with a statistically inhomogeneous structure (which is usually common in practice for most metal islet films [16]) determination of the particle size without statistical analysis of their microstructural parameters leads to a significant error [17].

At the same time, further development of the experimental-analytical approach to the determination of the electromagnetic parameters of nanosized particles allowed to significantly improve the method for determining the values α of nanosized particles taking into account the analysis of statistics of their distribution by the sizes for systems with a statistically inhomogeneous structure. This allowed improving the accuracy of the experimental values α_1 and α_2 of nanosized particles in nanostructured systems without additional restrictions on the heterogeneity of the microstructure (in particular functions of distribution of particles by the sizes) of such systems [17].

However, in order to study the peculiarities of optical properties of nanosized metal particles, it is necessary to expand the spectral range of experimental values of optical parameters in the near-ultraviolet region. In this connection, it is necessary to carry out a study of α of nanosized particles of chrome in the system of "islet film of chrome on quartz substrate" which has a window of transparency from the near-ultraviolet to the near-infrared region of the spectrum. It should be noted that islet films of chrome on quartz substrate have a statistically inhomogeneous structure with a significant fluctuation in the size of the islet particles. Therefore, it is expedient to estimate the experimental values of the optical characteristics of nanosized particles of chrome based on an improved experimental-analytical method for the determination of α_1 and α_2 for systems with statically inhomogeneous structure.

In this paper we present the results of experimental studies of the spectral and dimensional dependences of α of nanosized particles of chrome in systems with a statistically inhomogeneous structure in the range of the spectrum $\lambda = 0.2 \div 1.1$ μm.

Methodology of experiment. Spectral and dimensional dependences of the real α_1 and imaginary α_2 parts of the complex specific electrical polarizability of the nanosized particles of chrome were determined by an improved experimental and analytical method taking into account the analysis of the particle size distribution statistics.

The method is based on experimental spectrophotometric and electron microscopic measurements on a two-dimensional system (monolayers of nanosized particles on transparent substrate or islet films) with a statistically inhomogeneous structure and analytical solution of the inverse problem of the spectrophotometric system of Rosenberg's equations for two-dimensional systems. For this purpose a series of samples of islet film of chrome on quartz substrates was made and their experimental researches were carried out. Samples of islet films of chrome with weight thickness $0.5 \div 2$ nm were obtained by thermal evaporation of chrome (with an initial purity of 99.99%) in a modernized installation based on УВМ-15 in a vacuum at a pressure of residual gases 10^{-4} Pa at a speed ~ 0,1 ÷ 0,5 nm/s on heated quartz substrates up to 300 °C. The thickness of the films and the rate of their deposition were controlled by the method of the quartz resonator. After additional heat treatment at 350 °C in vacuum at a pressure of residual gases 10^{-4} Pa and cooling to room temperature, samples were applied to the air. The heating and cooling in vacuum were carried out at a rate of 5 °C/min. After the heat treatment, structural changes in nanosized chrome films are observed which is also confirmed by the results of the studies presented in [18]. It should be noted that in УВМ-15 in addition to the system of thermal evaporation, there is equipped with a magnetron-sputtering system that allows the synthesis of the dielectric component [19] during the formation of metal-dielectric structures on the basis of nanosized metal inclusions.

Electron microscopic studies have shown that nanoscale islet film of chrome with statistically heterogeneous structure and shape of islet particles close to spherical. By analyzing the particle size distribution statistics on the basis of the Pearson's chi-squared test χ^2 [19], it was determined that nanosized particles of chrome

have a diameter $D_0 = 2.5 \div 6.5$ nm with a surface concentration of $N_0 = (1 \div 4.6) \cdot 10^{12}$ cm^{-2}.

Spectrophotometric measurements of coefficients of transmission T and reflection R of nanosized films of chrome in the wavelength range $\lambda = 0.2 \div 1.1$ μm (with an accuracy of 1%) were performed at a normal angle of incidence of light on a film on a spectrophotometer СФ-16 with a special prefix for measuring reflection of light. Experimental values α_1, α_2 of chrome nanoparticles are determined provided that $\varepsilon_m = (1 + \varepsilon_0) / 2$, where ε_0 is the dielectric permittivity of the quartz substrate.

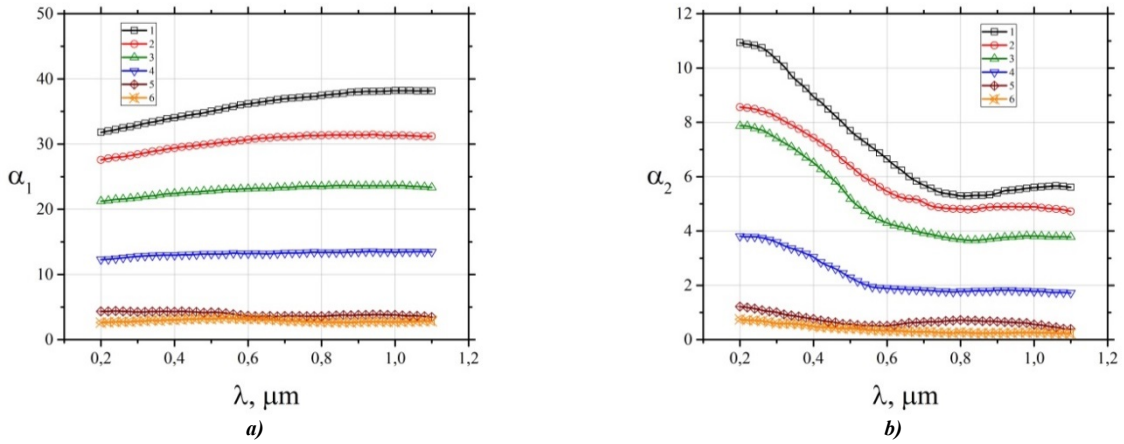
Results and discussion. The experimental spectral dependences α_1 and α_2 of nanosized particles of chrome are shown in Fig. 1, and dimensional – in Fig. 2.

It can be seen that the experimental dispersion changes of α_1 and α_2 of nanosized particles of chrome in islet films on quartz substrate are monotonous character. It has been found that in the considered spectral range values α_1 and α_2 of nanosized particles of chrome increase with decreasing their size.

For comparison (Fig. 1 and Fig. 2) numerical estimation of the values α_{1m} and α_{2m} for a model spherical particle with the properties of "massive" (in macroscopic volume) chrome calculated on the basis of the index of refractive n and absorption k in the macroscopic volume of polycrystalline chrome [20] and continuous films of chrome with thicknesses of 50 nm [21] was carried out. From Fig. 1 implies that for spectral dependences of α_1 and α_2 a qualitative agreement with the dispersion dependences α_{1m} and α_{2m} is achieved. In this case, α_1 and α_2 have values up to one order of magnitude above the corresponding values of α_{1m} and α_{2m}. It should be noted that in the vicinity of $\lambda \sim 0.53$ μm on the dispersion curves of optical conductivity $\sigma = \varepsilon_2 / 4\pi\omega$ (ω – cyclic frequency of light) of polycrystalline chrome [20, 22, 23] and of continuous films of chrome [21], there is a band that considered [22, 23] to the interband Bragg absorption. The difference between curves 5 and 6 (Fig. 1, b) is related, most likely, to the difference between the experimental methods used in [20, 21] for the determination of n and k, and with the degree of possible [21] oxidation of the surface used samples. It is known [21, 23] that in the presence of oxide layers on the surface of samples of polycrystalline chrome and its films, the imposition of absorption bands of chromium and its oxides is observed which strongly absorb at frequencies $\hbar\omega = 2.04$; 2.69 eV [24]. It is clear that this can significantly affect the optical constants of samples in the range $\lambda = 0.2 \div 0.9$ μm. Since in [20] the oxidation of the surface of the specimens was not specifically investigated, and in [21] the presence of oxide layers is registered, then the question of which n and k are closer to the "pure" metallic chrome used by us remains open. Investigation of the processes of oxidation of ultra-dispersed particles of chrome has shown [5] that electron diffraction pattern of newly-produced particles of chrome with dimensions ~ 20 nm does not detect oxide traces. In this regard, in this work, the measurements of T and R of islet films of chrome were carried out immediately after removing them from the vacuum chamber.

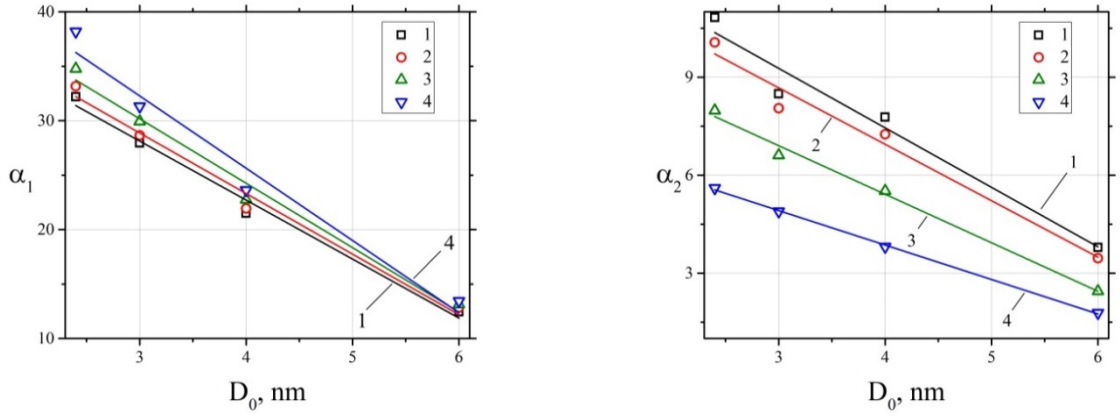
Estimates on the basis of the ratios given in [8] and the experimental values of real ε_1 and imaginary ε_2 parts of the dielectric permittivity of chrome particles showed that they also, as for nickel particles [9], silver [7], fall in absolute value with a decrease in the particle size.

It should be noted that the comparison of the experimental characteristics obtained on the basis of the improved experimental-analytical method (for systems with a statistically heterogeneous structure) of α_1 and α_2 of nanosized chrome particles in islet films on a quartz substrate with their corresponding characteristics of α_1 and α_2 of chrome particles in islet films on a glass substrate obtained in [6, 9] without a statistical analysis of particle size distribution in a qualitative relation are identical. In this case, the quantitative differences between the corresponding experimental values α_1, α_2, which follow from the two variants of their definition, make up to 30%.



a) *b)*

Fig. 1. Spectral dependences of the real (a) and imaginary (b) parts of the complex specific electrical polarizability of nanosized particles of chrome at different values of diameter D_0 of the particle: 1 – D_0 = 2.4 nm; 2 – D_0 = 3 nm; 3 – D_0 = 4 nm; 4 – D_0 = 6 nm; 5 – for the model sphere with values of the electromagnetic parameters characteristic of chrome in the macroscopic volume [21]; 6 – for the model sphere with values of the electromagnetic parameters characteristic of chrome in the macroscopic volume [20]



a) *b)*

Fig. 2. Dimensional dependences of real (a) and imaginary (b) parts of the complex specific electrical polarizability of nanosized particles of chrome at different values of λ: 1 – λ = 0.24 μm; 2 – λ = 0.32 μm; 3 – λ = 0.48 μm; 4 – λ = 1 μm

Conclusions. It is shown that the application of an improved experimental-analytical method (for systems with a statistically inhomogeneous structure) increases the accuracy of the determination of α of nanosized metal particles. A significant increase (up to one order of magnitude) of the values α_1 and α_2 of nanosized particles of chrome in the range of the spectrum $\lambda = 0.2 \div 1.1$ μm with decreasing their diameter from 6.5 nm to 2.5 nm and compared with α_{1m} and α_{2m} of model spheres with values of optical parameters characteristic for the macroscopic chrome is established.

Estimates of real ε_1 and imaginary ε_2 parts of the complex dielectric permittivity of chrome particles on the basis of the experimental values α_1 and α_2 have shown that ε_1 and ε_2, as well as for the particles of noble metals [7], fall in absolute value with decreasing particle size.

The experimental data about dimensional dependences of optical parameters of nanosized particles chrome are of practical interest for the creation of nanostructural systems with given optical characteristics and functional devices on their basis.

References

1. L. Sarkhosh, H. Aleali, R. Karimzadeh, N. Mansour. Large thermally induced nonlinear refraction of gold nanoparticles stabilized by cyclohexanone. Physica Status Solidi A. 2010. Volume 207. Issue 10. pp. 2303–2310.

2. A. Borisova, A. Machulyansky, Y. Yakimenko, V. Bovtun, M. Kempa, M. Savinov, B.Bondar. Modeling of metal-dielectric nanocomposite coatings with ferromagnetic inclusions for ensuring electromagnetic protection of electronic devices. IEEE 34th International Scientific Conference “Electronics and Nanotechnology”. Kiev (April, 16–19th, 2014). pp. 138–141.

3. S.G. Moiseev. Active Maxwell-Garnett composite with the unit refractive index. Physica B: Physics of Condensed Matter. 2010. Volume 405(14). pp. 3042–3045.

4. Gadomskiy O.N. Vyisokoeffektivnyie prosvetlyayuschie nanostrukturnyie opticheskie pokryitiya dlya solnechnyih elementov / O.N. Gadomskiy, K.K. Altunin, N.M. Ushakov et al. // ZhTF. 2010. Volume 80. Issue 6. pp. 83–89.

5. Petrov Y.I. Fizika malyih chastits. Moscow: Nauka, 1982, 359 p.

6. A.V. Machulyanskiy. Elektromagnitnyie harakteristiki nanokompozitov na osnove nanorazmernyih metallicheskih vklyucheniyю. TehnIchna elektrodinamIka. 2012. Volume 2. pp. 193–197.

7. E.A. Bondar. Razmernyie zavisimosti opticheskih harakteristik malyih chastits serebra v vyisokochastotnoy oblasti spektra. Optics and Spectroscopy. 1994. Volume 77. Issue 3. pp. 414–420.

8. A. Borisova, B. Babych, A. Machulyansky, V. Verbitskiy, Y. Yakimenko. Dimensional dependencies of optical parameters of nanodimensional metal particles. IEEE 36th International Scientific Conference “Electronics and Nanotechnology”. Kyiv (April, 19–21th, 2016). pp. 140–143.

9. A.V. Machulyanskiy. Razmernyie zavisimosti dinamicheskoy polyarizuemosti ultradispersnyih chastits. Electronics and Communication. 2001. Issue 10, pp. 78–80.

10. A.V. Kalenskiy, M.V. Ananeva, A.P. Nikitin. Opticheskie harakteristiki nanochastits nikelya v prozrachnyih matritsah. Sovremennyie nauchnyie issledovaniya i innovatsii. 2014. Issue 11-1(43). pp. 5–13.

11. A. Borisova, B. Babych, V. Verbitskiy, A. Machulyansky, M. Rodionov, Y. Yakimenko. Energy-efficient optically transparent coating based on a metal-dielectric composites. IEEE 35th International Scientific Conference “Electronics and Nanotechnology”. Kyiv (April, 21–24th, 2015). pp. 93–96.

12. E.A. Bondar, A.V. Machulianskyi. Spektrofotometricheskiy metod opredeleniya dinamicheskoy polyarizuemosti ultradispersnyih metallicheskih chastits. Algoritm vyichisleniy. Optics and Spectroscopy. 1991. Volume 70. Issue 1. pp. 161–163.

13. Pozenbepg G.V. Optika tonkosloynyih pokryitiy. Moscow, 1958, 570 p.

14. U. Kreibig. Kramers Kroning analysis of the properties of small silver particles. Z. Phys. 1970. Volume 234. pp. 307–313.

15. T. Yamaguchi, H. Tamura, E. Anno. Optical absorption of small Ag clasters deposited on a gold substrate by attenuated total reflection spectrocopy. Physica. 1989. Volume 157. Issue 1. pp. 339–343.

16. A.V. Machulyanskiy, M.K. Rodionov, A.V. Borisov. Otsenka funktsii raspredeleniya po razmeram ultradispersnyih chastits kondensatov nikelya i hroma. Electronics and Communication. 2002, Issue 15, pp. 133–136.

17. A. Machulyansky, B. Babych, V. Machulyansky. Modelling of electromagnetic parameters of two-dimensional nanostructural system taking into account statistics of distribution of nanoparticles on the sizes. 9th International scientific conference "Functional base of nanoelectronics". Odessa. 2017. pp. 193–196.

18. V.A. Zlenko, S.I. Protsenko. Nanorazmernyie ostrovkovyie strukturyi na poliimidnoy podlozhke. 20-ya Mezhdunarodnaya Kryimskaya konferentsiya "SVCh-tehnika i telekommunikatsionnyie tehnologii". Sevastopol. 2010. pp. 886–887.

19. A. Borisova, A. Machulyansky, M. Rodionov, Y. Yakimenko, B. Babych. Properties of Aluminum Oxynitride Films Prepared by Reactive Magnetron Sputtering. IEEE 34th International Scientific Conference "Electronics and Nanotechnology". Kiev (April, 16–19th, 2014). pp. 188–190.

20. G.V. Ganin, M.M. Kirillova, L.V. Nomerovannaya, V.P. Shirokovskiy. Fizika metallov i metallovedenie. 1977. Volume 43. Issue 5. pp. 907–918.

21. P.B. Johnson, R.W. Christy. Optical constants of transitions metals: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni. Phys. Rev. B. 1974. Volume 9. Issue 12. pp. 5056–5070.

22. V.S. Staschuk, M.Ts. Dobrovolskaya, S.N. Tkachenko. Optika i spektroskopiya. 1984. Volume 56. Issue 5. pp. 968–971.

23. V.S. Staschuk, V.I. Shkurat. Ellipsometriya – metod issledovaniya poverhnosti. Novosibirsk. 1983. pp. 35–37.

24. Lazarev V.B., Sschbolev V.V., Shatslyigin I.S. Himicheskie i fizicheskie svoystva prostyih oksidov metallov. Moscow, 1983, 239 p.

Рецензія/Peer review : 16.11.2017 р. Надрукована/Printed :07.02.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Мельник І.В.

УДК 621.01

Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, Е.Д. КАРА
Одесская национальная академия пищевых технологий

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ШЕСТИЗВЕННОГО РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА ПРИВОДА НОГИ ШАГАЮЩИХ МАШИН

Работа посвящена кинематическому проектированию шестизвенного рычажного механизма в качестве привода ноги шагающих машин. Установлено, что для обеспечения поступательного перемещения ноги шагающих машин по заданной шатунной кривой достаточно осуществить кинематический синтез направляющего кривошипно-ползунного механизма. Поскольку в дальнейшем должна быть воспроизведена вся шатунная кривая, при условии обеспечения полной проворачиваемости входного звена механизма, предложено общую задачу кинематического синтеза разбить на две более простые подзадачи, что позволяет определить значение всех постоянных параметров кинематической схемы для проектирования. В данной работе приведено решение безразмерных величин первой подзадачи в виде рычажного дифференциального механизма с двумя обобщенными координатами. Первоначально представлен графический метод решения поставленной задачи с последующим математическим ее моделированием. Для уменьшения области поиска возможных решений предложено использовать понятие «окружность Аполлония». Получены математические выражения в качестве исходных данных для реализации второй подзадачи кинематического синтеза направляющего кривошипно-ползунного механизма. Приведен числовой пример определения геометрических параметров кинематической схемы рычажного дифференциального механизма с двумя обобщенными координатами.

Ключевые слова: рычажный дифференциальный механизм, шатун, траектория, безразмерная величина, центр, окружность, кинематический синтез.

R.V. AMBARTSUMYANTS, E.D. KARA
Odessa National Academy of Food Technologies

KINEMATIC SYNTHESIS OF THE SIX-UNIT LEVER MECHANISM OF THE DRIVE OF THE LEG OF THE WALKING MACHINES

The work is devoted to the kinematic design of a six-membered linkage to drive the legs of walking machines. The task is justified by the fact that as shows the analysis of the current state transporting cars most distinctive mode of transportation, especially when the roads are a walking machine. The essential device of walking machines is the drive foot which provides the necessary trajectory of its movement. Found that the most effective from the point of view of operational properties are cyclic mechanisms and, particularly, lever mechanisms to provide the translational movement of the legs walking machine along a predetermined path. It is established that such are the qualities of six-membered linkage, formed on the basis of the conrod-slider mechanism. The structure of this mechanism include a mechanism articulated parallelogram, which allows the General problem of kinematic synthesis of six-link linkage can result in the synthesis of the guide conrod-slider mechanism. Because in the future needs to be played connecting rod curve along its entire length, provided that full wrenched the input link of the proposed. General problem of kinematic synthesis of conrod-slider mechanism to be split into two subproblems of smaller dimensions, since the conventional methods of synthesis using recurrence relations does not allow to solve the problem in full. From the composition stands out lever differential mechanism with two generalized coordinates (the first task) and specify its parameters so that at full wrench one of the links forming a movable connection with the stand, and loop the specified trajectory of the walking legs (the second task). Then to the crank lever differential mechanism is sought some point, the trajectory of which differs little from a straight line. In the solution of the first task and the initial data for the solution of the second problem. The first task carried out in relative terms, the share of straight-line portion of a predetermined path. Originally submitted to graphic method of solving the tasks with the subsequent its mathematical modelling. To reduce the search scope for possible solutions it is proposed to use the concept of "Apollonius circle" built on the basis of a predetermined crank curve. Numerical example determine the geometric parameters of the kinematic scheme of the lever differential mechanism with two generalized coordinates.

Keywords: linkage differential mechanism, the connecting rod, the trajectory, the dimensionless quantity, center, circumference, kinematic synthesis.

В последние десятилетие возрос интерес исследователей к вопросам проектирования шагающих машин [1, 2 и др.]. Одним из важных устройств таких машин являются механические приводы, обеспечивающие необходимую траекторию ноги. Наиболее эффективными, с точки зрения эксплуатационных свойств, как показывают проведенные исследования в этой области, являются цикловые механизмы на основе рычажных [1, 2]. Большинство таких механизмов воспроизводят траекторию точки какого-либо звена, и по которой подразумевается перемещение ноги шагающих машин. Однако в реальных конструкциях машин нога имеет материальные размеры и для устойчивого шагания необходимо, чтобы все ее точки описывали одинаковые траектории, т.е., ноги должны совершать поступательное перемещение согласно заданной траектории. Требования разрабатывать конструкции рычажных механизмов для поступательного перемещения какого либо звена по заданной шатунной кривой приводит к существенному усложнению привода, его многозвенности, увеличению массы, габаритных размеров потери на трение [3, 4 и др.]. В связи с изложенным, разработка конструкций рычажных механизмов с минимальным числом звеньев в качестве привода ноги шагающих машин их структурный и кинематический синтез, являются весьма актуальными задачами.

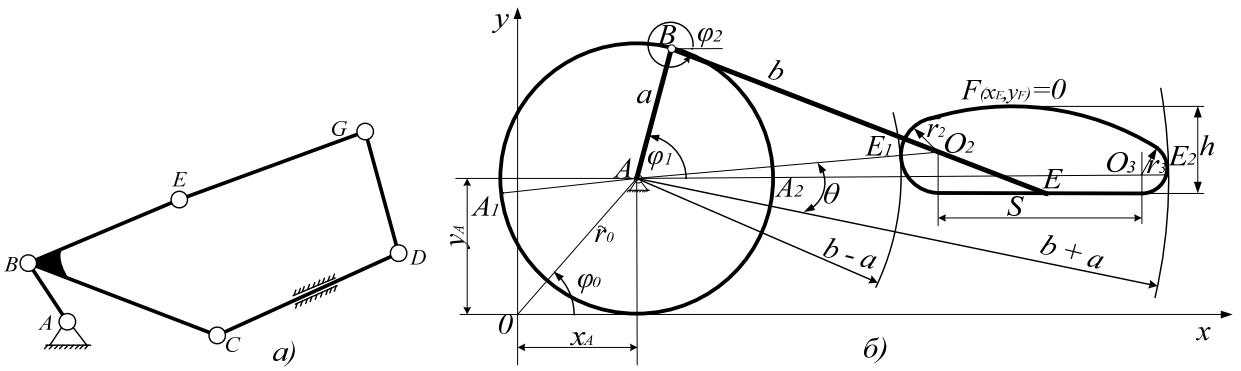


Рис. 1. Кинематическая схема шестизвенного рычажного механизма привода ноги шагающих машин – *а*); расчетная схема рычажного дифференциального механизма – *б*)

Целью работы является кинематический синтез шестизвенного рычажного механизма, для поступательного перемещения ноги шагающих машин (рис. 1, *а*), конструкция которого защищена патентом Украины [5].

В рассматриваемом механизме шатун *EG* является ногой шагающих машин, и он совершает поступательное перемещение по шатунной кривой, описываемой шатунной точкой *E*. Механизм образован на базе кривошипно-ползунного механизма. К шатунной точке *E* и к точке *D* штока *CD* присоединена двухповодковая группа Асура *EGD* второго класса первого вида по классификации Асура – Артоболевского, в которой длины $l_{EG} = l_{CD}$; $l_{GD} = l_{EC}$. Тогда контур *CEGD* является шарнирным параллелограммом и при любом положении кривошипа *OA* звенья *EG* и *CD* параллельны. Следовательно, траектории точек *E* и *G* идентичны, шатун *EG* совершает поступательное перемещение по шатунной кривой точки *E* и для его проектирования, достаточно синтезировать направляющий кривошипно-ползунный механизм. К синтезу направляющего кривошипно-ползунного механизма посвящены много работ [2, 4 и др.]. В фундаментальной работе [4] для синтеза направляющего кривошипно-ползунного механизма использованы рекуррентные отношения. Однако в постановке этих задач не предусмотрено воспроизведение шатунной кривой за полный оборот кривошипа.

В работе [6] приведена математическая модель траектории ноги шагающих машин, где в частности установлено, что кроме обеспечения необходимого прямолинейного участка траектории, важным параметром является максимальная высота кривой относительно прямолинейного участка, что обеспечивает необходимый просвет между корпусом машины и опорной поверхностью. Число постоянных геометрических параметров кривошипно-ползунного механизма ограничено, поэтому при кинематическом синтезе необходимо наиболее точно воспроизвести прямолинейный участок траектории, так как на этом участке происходит шагание машины и высоту шатунной кривой, что обеспечивает необходимый просвет. В связи с изложенным, предлагаем задачу кинематического синтеза рассматриваемого механизма разбить на две подзадачи: 1) выделить из состава механизма рычажный дифференциальный механизм, например, *ABE* (см. рис. 1, *б*) с двумя обобщенными координатами и определить значение его постоянных параметров так, чтобы точка *E* описывала заданную траекторию; 2) определить на шатуне *BE* некоторую шатунную точку *C*, траектория которой мало отличается от прямой лини, описываемой уравнением $y_C = kx_C + d$, с учетом как прямолинейного участка, так и ее максимальной высоты.

В данной работе приведено решение первой задачи и подготовлены необходимые данные для решения второй задачи. Исходным при этом является заданная траектория ноги шагающей машины в виде $F(x_E, y_E) = 0$ (рис. 1,*б*). Рычажный дифференциальный механизм имеет две степени свободы и поставленная задача имеет бесчисленное множество решений, однако входное звено *AB* должно быть кривошипом и при его полном обороте точка *E* должна обегать заданную траекторию на всем своем протяжении. В таком случае целесообразно в качестве входного звена принимать точку *E* с заданной траекторией движения. Тогда дифференциальный механизм преобразуется в механизм с одной степенью свободы и его параметры определяем таким образом, чтобы звено *AB* был кривошипом при перемещении точки *E* по заданной траектории $F(x_E, y_E) = 0$.

Обозначим: $a = \frac{l_{AB}}{S}$; $b = \frac{l_{BE}}{S}$; $\tilde{y}_A = \frac{y_A}{S}$; $\tilde{x}_A = \frac{x_A}{S}$; $\tilde{r}_2 = \frac{r_2}{S}$; $\tilde{r}_3 = \frac{r_3}{S}$; $\tilde{h} = \frac{h}{S}$, где l_{AB}, l_{BE} – длины звеньев *AB* и *BE*; x_A, y_A – координаты точки *A* (центр вращения кривошипа); r_2, r_3 – радиусы части траектории точки *E* (см. рис. 1,*б*). Это позволяет найти решение задачи в безразмерных величинах в предположении, что длина прямолинейного участка траектории равна единице, т.е. $S/S = 1$.

При условии, что положение точки *A* известно, звено *AB* будет кривошипом, если точка *E* принимает наиболее удаленное и близкое положение от точки *A*, а именно когда звенья *AB* и *BE* втягиваются в одну прямую и накладываются одно на другое соответственно. Предоставим сначала

графическое решение задачи. Из выбранной точки A проводим окружности, касательные к кривой $F(x_E, y_E)$ с точками касания E_1 и E_2 соответственно, и углом между прямыми AE_1, $AE_2 - \theta$ (см. рис. 1,*б*). Безразмерные длины кривошипа и шатуна определим из отношений

$$a = \frac{(AE_1) - (AE_2)}{2}, \tag{1}$$

$$b = AE_2 - a = \frac{AE_2 - AE_1}{2}. \tag{2}$$

Согласно расчетной схеме (см. рис. 1, *б*) запишем $(AE_1) = b - a$ и $(AE_2) = b + a$. Тогда для определения численных значений параметров a и b с необходимой точностью вычислений решаем систему уравнений:

$$\left.\begin{aligned}(\tilde{x}_A - \tilde{x}_{02})^2 + (\tilde{y}_A - \tilde{y}_{02})^2 &= (b - a + \tilde{r}_2)^2 \\ (\tilde{x}_A - \tilde{x}_{03})^2 + (\tilde{y}_A - \tilde{y}_{03})^2 &= (b + a - \tilde{r}_3)^2\end{aligned}\right\}, \tag{3}$$

где $\tilde{x}_A, \tilde{y}_A, \tilde{r}_2, \tilde{r}_3$ – относительные координаты центра вращения кривошипа A и о радиусы кривизны точек касания E_1 и E_2 шатунной кривой.

Решение системы уравнений (3) приводит к алгебраическому уравнению четвертого порядка, что весьма трудоемко. Поэтому, принимая во внимание, что точки касания E_1 и E_2 находятся на прямых (AO_2 и AO_3) предлагаем более простой способ вычисления параметров a и b. Из системы уравнений (3) следует:

$$(AE_1) = b - a = \sqrt{(\tilde{x}_A - \tilde{x}_{02})^2 + (\tilde{y}_A - \tilde{y}_{02})^2} - r_2\,;\; (AE_2) = b + a = \sqrt{(\tilde{x}_A - \tilde{x}_{03})^2 + (\tilde{y}_A - \tilde{y}_{03})^2} + r_3,$$

что позволяет из выражений (1), (2) находить значения a, b с требуемой точностью.

Из расчетной схемы (рис. 1,*б*) следует, что выбор координат точки A существенно влияет на значение угла θ. Поскольку прямолинейный участок заданной траектории определяет ход шагающей машины, то следует стремиться к тому, чтобы значения угла θ было максимально меньшим, т.к. обеспечивается при этом сравнительно большие значения угла поворота кривошипа AB за время прохождения точки E по прямолинейному участку. При заданном значении угла θ для определения значений параметров a и b на отрезке O_2O_3 строим окружность Аполлония (рис. 2) что, кроме обеспечения заданного значения угла θ, позволяет выбрать наиболее приемлемые для будущей конструкции размеры a и b.

Для построения окружности Аполлония из середины окружности O_2O_3 (точки M) проводим перпендикулярную прямую до пересечения с прямой проведенной из точки O_2 (или O_3) под углом $90 - \theta$ относительно прямой O_2O_3, либо в пересечении двух кривых, проведенных из точек O_2 и O_3 под углом $90 - \theta$. Точка пересечения этих прямых и есть центр искомой окружности.

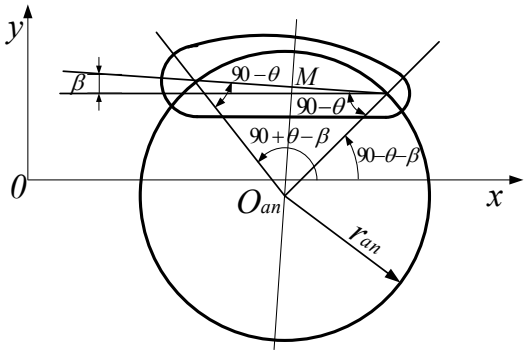


Рис. 2. Построение окружности Аполлония

Из рис. 2 следует, что радиус окружности Аполлония

$$\tilde{r}_{an} = \frac{1}{2\cos\beta \cdot \sin\theta}. \tag{4}$$

Безразмерные координаты центра окружности Аполлония $\tilde{x}_{an}, \tilde{y}_{an}$ находим из решения системы линейных уравнений:

$$\left.\begin{aligned}\frac{\tilde{y}_{02} - \tilde{y}_{an}}{\tilde{x}_{02} - \tilde{x}_{an}} &= tg(90 + \theta - \beta) = -ctg(\theta - \beta) \\ \frac{\tilde{y}_{03} - \tilde{y}_{an}}{\tilde{x}_{03} - \tilde{x}_{an}} &= tg[90 - (\theta + \beta)] = ctg(\theta + \beta)\end{aligned}\right\}, \tag{5}$$

Если радиусы $\tilde{r}_{02} = \tilde{r}_{03}$, то $\tilde{y}_{02} = \tilde{y}_{03}$ и $\tilde{x}_{03} = \tilde{x}_{02} + 1$. Тогда на основании рассчетной схемы

получим $\widetilde{x}_{an} = 0{,}5 + \widetilde{x}_{02}$. Поскольку $(\widetilde{x}_{02} - \widetilde{x}_{an})^2 + (\widetilde{y}_{02} - \widetilde{y}_{an})^2 = \widetilde{r}_{an}^2$, то $\widetilde{y}_{an} = \pm\sqrt{\widetilde{r}_{an}^2 - 0{,}25} - \widetilde{y}_{02}$.

После определения координаты центра окружности Аполлония задаемся значением $\widetilde{x}_A$ в границах

$$(\widetilde{x}_{an} - \widetilde{r}_{an}) \le \widetilde{x}_A < \widetilde{x}_{an}. \quad (6)$$

Ординату точки *A* находим из уравнения окружности Аполлония. Имеем

$$\widetilde{y}_A = \pm\sqrt{r_{an}^2 - (\widetilde{x}_a - \widetilde{x}_{an})^2} + \widetilde{y}_{an}. \quad (7)$$

После того, как определены координаты точки *A* значения параметров *a*, *b* находим из уравнений (1), (2).

Для завершения кинематического синтеза рассматриваемого механизма необходимо найти функциональные зависимости $\varphi_1 = \varphi_1(x_E, y_E)$ и $\varphi_2 = \varphi_2(x_E, y_E)$. Принимая во внимание, что координаты точки $E(x_E, y_E)$ принадлежат пересечению множеств $\{\nu_i\} \bigcap \{\nu_j\}$ где $\widetilde{x}_A, \widetilde{y}_A, a, \in \{\nu_i\}$, и $E(x_E, y_E) \in \{\nu_j\}$ при условии, что между этими множествами имеется постоянно расстояние, то получим замкнутый контур, для которого справедливо матричное равенство (см. рис. 2).

$$\begin{bmatrix} \widetilde{x}_A \\ \widetilde{y}_A \end{bmatrix} + a\begin{bmatrix} \cos\varphi_1 \\ \sin\varphi_1 \end{bmatrix} + b\begin{bmatrix} \cos\varphi_2 \\ \sin\varphi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \widetilde{x}_E \\ \widetilde{y}_E \end{bmatrix}, \quad (8)$$

где φ_1, φ_2 – углы поворота звеньев *AB* и *BE* относительно начала отсчета.

Матричное равенство (8) равносильно двум скалярным уравнениям с двумя неизвестными φ_1 и φ_2. Для нахождения функциональной зависимости $\varphi_1 = \varphi_1(\widetilde{x}_E, \widetilde{y}_E) \subset \varphi_2 = \varphi_2(\widetilde{x}_E, \widetilde{y}_E)$ исключаем угол φ_2 и относительно неизвестного φ_1 получим матричное равенство [7]

$$2\begin{bmatrix} \widetilde{x}_A{}^a \\ \widetilde{y}_A{}^a \\ \widetilde{x}_A\widetilde{x}_E \\ \widetilde{y}_A\widetilde{y}_E \\ a\widetilde{x}_E \\ a\widetilde{y}_E \end{bmatrix}^t \begin{bmatrix} \cos\varphi_1 \\ \sin\varphi_1 \\ 1 \\ 0 \\ \cos\varphi_1 \\ \sin\varphi_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \widetilde{x}_A \\ \widetilde{y}_A \\ a \\ \\ -\widetilde{x}_E \\ -\widetilde{y}_E \end{bmatrix}^t \begin{bmatrix} \widetilde{x}_A \\ \widetilde{y}_A \\ a \\ \\ \widetilde{x}_E \\ \widetilde{y}_E \end{bmatrix} = 0. \quad (9)$$

Раскрывая матричное равенство (9) относительно неизвестного φ_1 получим тригонометрическое уравнение

$$A\cos\varphi_1 + B\cos\varphi_1 + C = 0, \quad (10)$$

где $A = 2a(\widetilde{x}_A - \widetilde{x}_E); B = 2a(\widetilde{y}_A - \widetilde{y}_E); C = (\widetilde{x}_A - \widetilde{x}_E)^2 + (\widetilde{y}_A - \widetilde{y}_E)^2 + a^2$.

Из решения уравнения (10) находим функциональную зависимость $\varphi_1 = \varphi_1(\widetilde{x}_E, \widetilde{y}_E)$. Имеем

$$\varphi_1 = 2arctg\frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}. \quad (11)$$

Для определения функциональной зависимости $\varphi_2 = \varphi_2(\widetilde{x}_E, \widetilde{y}_E)$ запишем $\widetilde{x}_A + a\cos\varphi_1 + b\cos\varphi_2 = \widetilde{x}_E$, $\widetilde{y}_A + a\sin\varphi_1 + b\sin\varphi_2 = \widetilde{y}_E$. Из последних зависимостей находим

$$\cos\varphi_2 = \frac{\widetilde{x}_E - \widetilde{x}_A - a\cos\varphi_1}{b}, \sin\varphi_2 = \frac{\widetilde{y}_E - \widetilde{y}_A - a\sin\varphi_1}{b}. \quad (12)$$

Пример. Определить параметры рычажного дифференциального механизма, если $S = 1$; $\theta = 15^\circ$; $\widetilde{r}_2 = 0{,}30$; $\widetilde{r}_3 = 0{,}20$.

Из уравнения (4) находим: $\widetilde{r}_{an} = 1{,}9487$, а из решения системы (5) – $\widetilde{x}_{an} = 0{,}70$, $\widetilde{y}_{an} = -1{,}00$. Задаемся $\widetilde{x}_A = -1{,}00$ в границах (6), тогда ордината точки *A* (см. (7)) $\widetilde{y}_A = -0{,}6668$. Длины отрезков: $(AO_2) = 2{,}2394$, $(AO_3) = 2{,}9862$. Тогда из выражений (1), (2) получим $a = 0{,}6234$; $b = 2{,}5628$.

Методом графических построений легко убедится, что при перемещении точки *E* по заданной кривой $F(x_E, y_E)$ звено *AB* является кривошипом.

Выводы:

1. Разбивка задачи кинематического синтеза направляющего кривошипно-ползунного механизма на две подзадачи позволяет упростить общую задачу кинематического синтеза и сравнительно легко определить значение части параметров.

2. Рычажный дифференциальный механизм с двумя обобщенными координатами позволяет воспроизвести заданную траекторию шагающей ноги абсолютно точно путем подбора законов движения входных звеньев.

3. Использование окружности Аполлония позволяет значительно уменьшить область выбора

возможных решений поставленной задачи.

4. При выборе значения угла θ целесообразно ограничиваться его минимальным значением и в том числе «ноль».

Литература

1. Павловский В.Е. О разработке шагающих машин / В.Е. Павловский // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2013. – № 101. – С. 32.

2. Кинин А.Б. Кинин А.А. Интерактивная методика синтеза направляющих рычажных механизмов для машин легкой промышленности / А.Б. Кинин, А.А. Кинин // Изв. ВУЗов Технология легкой промышленности 2010. – № 1. – С. 68–72.

3. Брискин Е.С. Опыт разработки и испытаний шагающих опор дождевальной машины / Е.С. Брискин, В.В. Чернышев, В.В. Жога, А.В. Малолетов // Тракторы и сельхоз. машины. – 2011. – № 9. – С. 27–31.

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

5. Патент України на корисну модель № 32393 / Амбарцумянц Р.В., Амбарцумянц К.Р.Заявка № u2008 00754 від 22.01.2008 р. Бюл. № 9, 200.

6. Амбарцумянц Р.В. Математическое моделирование траектории движения ноги шагающих машин / Р.В. Амбарцумянц, Е.Д. Кара // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – № 3. – С. 134–138.

7. Амбарцумянц Р.В. Об одном методе автоматизированного составления расчетных уравнений синтеза и анализа рычажных механизмов / Р.В.Амбарцумянц // Сб. Теория механизмов и машин. – Харьков, 1989. – № 47. – С. 90–96.

References

1. Pavlovskiy V.E. O razrabotke shagayushhix mashin // Preprinty IPM im. M.V. Keldysha. 2013. № 101. S. 32.

2. Kinin A.B., Kinin A.A. Interaktivnaya metodika sinteza napravlyayushhix rychazhyx mexanizmov dlya mashin lyogkoj promyshltnnosti // Izv. VUZov Texnologiya lyogkoj promyshltnnosti 2010, № 1. – C. 68-72.

3. Briskin E.S., Shernyshev V.V., Zhoga V.V., Maloletov A.V. Opyt razrabotki i ispytanij shagayushhix opor dozhdevalnoy mashiny // Traktory I selxoz mashiny. 2011. № 9. – C. 27-31.

4. Artobolevskiy S. I., Levitskiy N. N., Cherkudinov S.A. Sintez ploskix mexanizmov. M., Fizmatgiz, 1959. – C. 1084.

5. Patent Ukrayin na korysny model' № 32393. Zaiavka № u2008 00754 vid 22.01.2008 r. Biul. № 9,2008 / Ambartsumiants R.V., Ambartsumiants K.R.

6. Ambartsumiants R.V., Kara O.D. Matematicheskoe modelirovanie traektorii dvizheniya nogi shagayushhix mashin. Herald of Khmelnytskyi National University. Issue 3. 2016. – S. 134138.

7. Ambartsumiants R.V. Ob odnom metode avtomatizirovannogo sostavlenia raschetny'x uravneniy sinteza i analiza rychazhnyx mexanizmov. Sb. Teoriya mexanizmov i mashin. № 47, Xar'kov, 1989. – S. 9096.

Рецензія/Peer review : 05.11.2017 р. Надрукована/Printed :02.02.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Гапонюк О.И.

УДК 685.31

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

ВИЗНАЧЕННЯ НАТЯГУ НИТКИ ПІД ЧАС ЇЇ ВЗАЄМОДІЇ З ТРУБЧАСТИМИ СПРЯМОВУВАЧАМИ

В роботі наведені результати досліджень з визначення залежності натягу нитки під час її взаємодії з направляючою поверхнею трубчастого спрямовувача нитки з урахуванням радіального кута охоплення поверхні нитки направляючою. В дослідженні враховувався нелінійний характер залежності приведеного коефіцієнту тертя від площі контакту, питомого нормального тиску на дузі охоплення напрямної. Отримані результати використовувалися для удосконалення технологічних процесів трикотажної промисловості.

Ключові слова: нитка, направляюча поверхня, тертя, приведений коефіцієнт тертя.

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

DETERMINATION OF TENSION AT ITS INTERACTION WITH TUBULAR GUIDES

The paper presents the results of studies to determine the dependence of the thread tension upon its interaction with the guiding surface of the tubular yarn guide, taking into account the radial angle of covering the surface of the guide yarn. The study takes into account the nonlinear character of the dependence of the friction coefficient on the contact area, the specific normal pressure on the arc of the guide's coverage. The obtained results were used to improve the technological processes of the knitting industry. Installations and research methods. Tubular guides are an integral part of the thread supply system of the technological equipment of the knitting industry. The absence of studies of the process of interaction of the yarn with the guide surface of the tubular yarn guide taking into account the radial angle of the surface of the guide yarn and taking into account the nonlinear character of the dependence of the friction coefficient on the contact area, the specific normal pressure on the arc of coverage does not allow to optimize the geometric dimensions of the guide, process of operation of technological equipment and increase productivity. The theoretical basis for solving the scientific and technical problem are the works of leading scientists in the branches of technology of textile and knitted productions, textile materials science, thread mechanics, the theory of elasticity, mathematical modelling. In theoretical studies, methods of theoretical mechanics, material resistance, experiment planning, and statistical processing of research results were used. Practical value. The improvement of the design of the tube guides of the yarn of knitted machines makes it possible to minimize its tension, to reduce the breakage of the yarn, which is of great importance for improving the technological processes of the knitting industry in terms of increasing the productivity of the technological equipment and the quality of the products being let out.

Keywords: thread, guide surface, friction, the coefficient of friction.

Вступ

Актуальність. Недосконаліть конструкції трубчастих спрямовувачів нитки не дозволяє здійснювати мінімізацію натягу в процесі роботи трикотажної машини [1–3]. Вирішення цієї задачі має важливе значення для удосконалення технологічних процесів трикотажної промисловості з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості випускаємої продукції [4–7]. Таким чином, тема даної статті є актуальною, яка має важливе значення для удосконалення системи подачі нитки на трикотажних машинах. *Об'єкти і методи дослідження*. Трубчасті спрямовувачі є складовою частиною системи подачі нитки технологічного устаткування трикотажної промисловості [1, 8–12]. Відсутність досліджень процесу взаємодії нитки з направляючою поверхнею трубчастого спрямовувача нитки з урахуванням радіального кута охоплення поверхні нитки направляючою та з урахуванням нелінійного характеру залежності приведеного коефіцієнту тертя від площі контакту, питомого нормального тиску на дузі охоплення не дозволяє оптимізувати геометричні розміри направляючої, що дозволило мінімізувати натяг в процесі роботи технологічного устаткування і підвищити продуктивність [4–7]. Теоретичною основою при вирішенні науково-технічної проблеми є праці провідних вчених в галузях технології текстильного та трикотажного виробництв, текстильного матеріалознавства, механіки нитки, теорії пружності, математичного моделювання. У теоретичних дослідженнях використано методи теоретичної механіки, опору матеріалів, планування експерименту та статистичної обробки результатів досліджень [1, 3, 5–9]. *Практичне значення*. Удосконалення конструкції трубчастих спрямовувачів нитки трикотажних машин дозволяє мінімізувати її натяг, зменшити обриви нитки, що має важливе значення для удосконалення технологічних процесів трикотажної промисловості з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості випускаємої продукції [1–3].

Постановка завдання

Встановити залежності натягу нитки при її взаємодії з направляючою поверхнею трубчастого спрямовувача нитки з урахуванням радіального кута охоплення поверхні нитки направляючою з урахуванням нелінійного характеру залежності приведеного коефіцієнту тертя від площі контакту, питомого нормального тиску на дузі охоплення напрямної.

Встановити залежності впливу радіусу кривизни напрямної на величину вихідного натягу з урахуванням співвідношення радіусу нитки та внутрішнього радіусу трубчастого спрямовувача.

Основна частина

На рис.1 показана загальна розрахункова схема. Нитка огинає циліндричну напрямну поверхню радіусу ρ. Вхідний натяг нитки дорівнює P_0, а вихідний натяг нитки дорівнює P.

Система диференційних рівнянь, яка описує рівновагу нескінченно малого елемента нитки має вигляд [1–3]

$$\frac{dP}{ds} = F_{TP},\ ds = \rho d\varphi,\ \frac{Pd\varphi}{ds} = N,\ F_{TP} = f_{ПР}N,\ \ f = a(\frac{P\varphi}{\rho})^n,\ f_{ПР} = \frac{4\sin(\frac{\delta}{2})}{\delta + \sin(\delta)}a(\frac{P\varphi}{\rho})^n, \quad (1)$$

де P – натяг нитки; S – дугова координата; F_{mp} – сила тертя, яка діє на нескінченно малий елемент нитки; φ – кут охоплення ниткою напрямної поверхні; $f_{ПР}$ – приведений коефіцієнт тертя; δ – радіальний кут охоплення нитки поверхнею напрямної; N – питома нормальна реакція напрямної поверхні; f – коефіцієнт тертя при відсутності радіального охоплення; a, n – постійні коефіцієнти, для кожного виду нитки та напрямної.

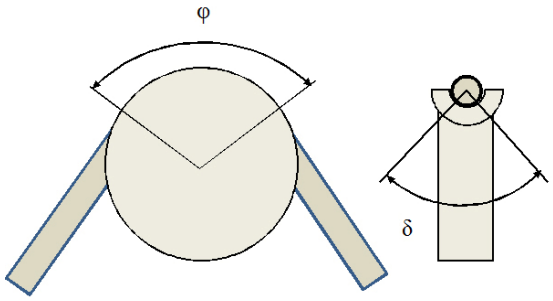


Рис.1. Загальна розрахункова схема

Дослідження, проведені в цьому напрямку [1,3–8], свідчать про те, що сила та коефіцієнт тертя нелінійно залежать від попереднього натягу, кута охоплення ниткої напрямної, діаметру циліндричної напрямної [8–12]. На рис.2 представлені графічні залежності зміни коефіцієнта тертя f від попереднього натягу нитки P_0 (крива 1), кута охоплення ниткою напрямної φ (крива 2), діаметру циліндричної напрямної d (крива 3). Приведений коефіцієнт тертя при зміні діаметру нитки та внутрішнього радіусу трубчастого спрямовувача змінюється згідно залежностей, представлених на рис.2. Значення n знаходиться в межах $(2/3) \le n \le 1$ [1–3]. Коли $n = 0$, то з п'ятого рівняння системи (1) коефіцієнт тертя буде дорівнювати $f = a$.

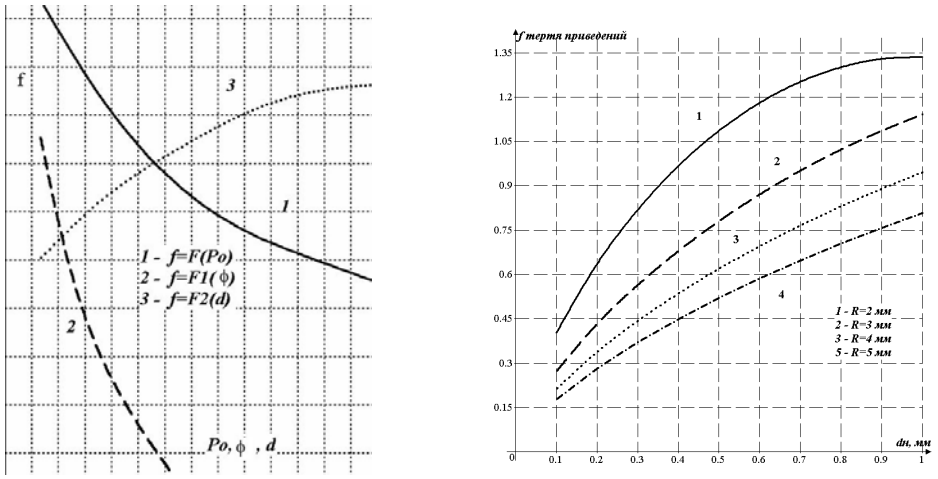


Рис. 2. Графічні залежності коефіцієнту тертя та приведеного коефіцієнту тертя від натягу нитки, кута охоплення та діаметру напрямної

В загальному вигляді залежність радіусу кривизни напрямної від дугової координати можна представити у вигляді ступеневого поліному. У разі постійного значення першої похідної дугової координати по куту охоплення радіус кривизни буде дорівнювати радіусу R циліндричної напрямної, що має місце у багатьох випадках в системах подачі нитки на трикотажних машинах.

$$\rho = \rho_0 + \sum_{i=1}^{n_1} b_i s^i,\ \frac{ds}{d\varphi} = const,\ \rho = R, \quad (2)$$

де ρ_0, b_i – деякі постійні.

З урахуванням системи рівнянь (2), представимо систему диференційних рівнянь (1) у вигляді

$$\frac{dP}{ds} = \frac{P}{(\rho_0 + \sum_{i=1}^{n_1} b_i s^i)} \frac{4\sin(\frac{\delta}{2})}{[\delta + \sin(\delta)]} a[\frac{P\varphi}{(\rho_0 + \sum_{i=1}^{n_1} b_i s^i)}]^n . \quad (3)$$

Преобразуємо диференційне рівняння (3), з урахуванням другого рівняння системи (1)

$$\frac{dP}{(\rho_0 + \sum_{i=1}^{n_1} b_i s^i) d\varphi} = \frac{P^{n+1}\varphi^n}{(\rho_0 + \sum_{i=1}^{n_1} b_i s^i)^{n+1}} \frac{4a\sin(\frac{\delta}{2})}{[\delta + \sin(\delta)]} .$$

Або

$$\frac{dP}{P^{n+1}} = \frac{\varphi^n}{(\rho_0 + \sum_{i=1}^{n_1} b_i s^i)^n} \frac{4a\sin(\frac{\delta}{2})}{[\delta + \sin(\delta)]} d\varphi .$$

У випадку постійного радіусу кривизни напрямної отримаємо

$$\frac{dP}{P^{n+1}} = \frac{\varphi^n}{R^n} \frac{4a\sin(\frac{\delta}{2})}{[\delta + \sin(\delta)]} d\varphi .$$

Проінтегруємо останнє диференційне рівняння

$$\int_{P_0}^{P} P^{-n-1} dP = \int_0^{\varphi} \frac{\varphi^n}{R^n} \frac{4a\sin(\frac{\delta}{2})}{[\delta + \sin(\delta)]} d\varphi .$$

Підставляємо верхнє та нижнє значення параметрів визначених інтегралів та отримуємо

$$P^{-n} = P_0^{-n} - \frac{\varphi^{n+1}}{R^n (n+1)} \frac{4a\sin(\frac{\delta}{2})}{[\delta + \sin(\delta)]} . \quad (4)$$

Перейдемо до аналізу рівняння (4). Пролагорифмуємо його ліву та праву частини

$$-n\ln(P) = \ln\{P_0^{-n} - \frac{n\varphi^{n+1}}{R^n (n+1)} \frac{4a\sin(\frac{\delta}{2})}{[\delta + \sin(\delta)]}\} .$$

Визначимо значення натягу ведучої гілки нитки для чого перейдемо в останньому рівнянні до границі при $n \to 0$

$$\lim_{n\to 0} \ln(P) = \lim_{n\to 0} \frac{\ln\{P_0^{-n} - \frac{n\varphi^{n+1}}{R^n (n+1)} \frac{4a\sin(\frac{\delta}{2})}{[\delta + \sin(\delta)]}\}}{-n} .$$

Використовуючи правило Лопіталя будемо мати

$$\ln(P) - \ln(P_0) = \frac{\varphi^{n+1}}{P_0^{-n} R^n} \frac{4a\sin(\frac{\delta}{2})}{[\delta + \sin(\delta)]} . \quad (5)$$

Аналізуючи рівняння (5), при $n \to 0$, отримаємо остаточний. Остаточний вираз для визначення натягу ведучої гілки нитки буде мати вигляд

$$P = P_0 e^{\frac{\varphi^{n+1}}{P_0^{-n} R^n} \frac{4a\sin(\frac{\delta}{2})}{[\delta + \sin(\delta)]}} . \quad (6)$$

Для випадка, коли коефіцієнт тертя є сталою величиною, враховуючи рівняння (1), при $n = 0, f = a$, отримаємо з (6)

$$P = P_0 e^{f\varphi \frac{4\sin(\frac{\delta}{2})}{[\delta+\sin(\delta)]}}. \quad (7)$$

Тут необхідно вказати, що формула (7) відрізняється від формули, яка отримана в роботі [1–3, 6]. Спрощення формули в роботі [6] обмежують її використання. При $\delta \to 0$ в формулі (7) , отримаємо відому формулу Л. Ейлера

$$P = P_0 e^{f\varphi}.$$

На рис. 3 представлені результати визначення натягу для капронової нитки 28 Т для P_0 =5, 10, 15, 20 сН по формулі (6). При розрахунках a=0,4; n=0,7; φ=3,14. На цьому рисунку наведені також експериментальні дані. Порівняння теоретичних та експериментальних даних показало, що похибка не перевищує 2–4%. При розрахунку за формулою Л.Ейлера похибка перевищує 11%.

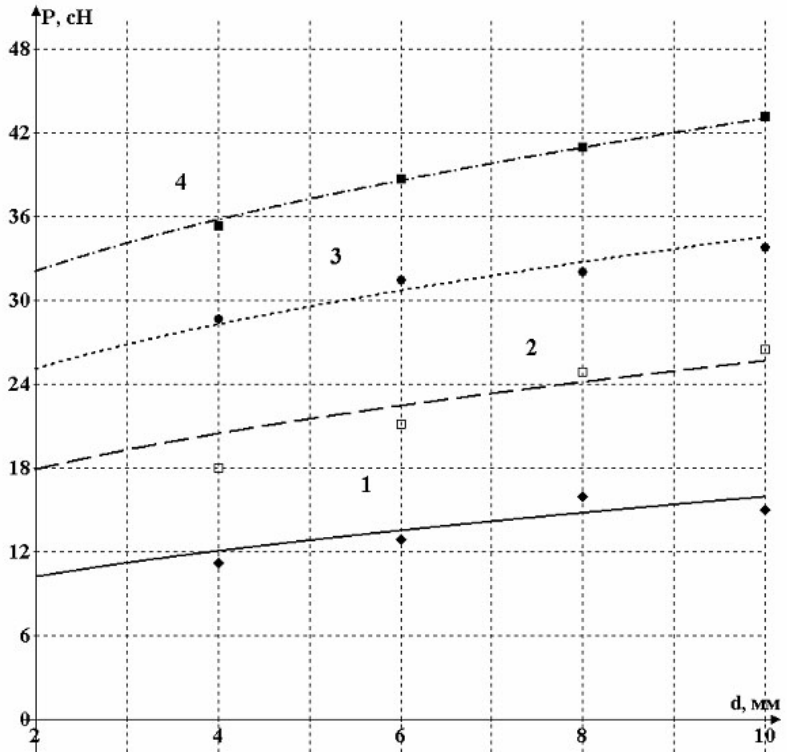


Рис. 3. Залежність натягу капронової нитки 28 Т від радіусу кривини циліндричної напрямної

Висновки

Встановлено залежності натягу нитки при її взаємодії з направляючою поверхнею трубчастого спрямовувача нитки з урахуванням радіального кута охоплення поверхні нитки направляючою. В дослідженні враховувалися нелінійний характер залежності приведеного коефіцієнту тертя від площі контакту, питомого нормального тиску на дузі охоплення напрямної.

Аналіз отриманих залежностей дозволив встановити, що при зростанні радіусу кривизни напрямної зростає вихідний натяг, що пов'язано зі збільшенням площі контакту. Крім того, на зміну натягу впливає співвідношення радіусу нитки та внутрішнього радіусу трубчастого спрямовувача. При наближенні цього співвідношення до 1 натяг нитки на виході буде мати максимальне значення.

Література

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

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

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

4. Щербань В.Ю. Оптимізація процесу взаємодії нитки з напрямними з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей / В.Ю. Щербань, М.І. Шолудько, О.З. Колиско, В.Ю. Калашник // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 3(225). – С. 30–33.

5. 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.

6. 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 Хмельницького національного університету. – 2013. – № 6. – С. 10–13.

7. 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.

8. 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.

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

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

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

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

References

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Рецензія/Peer review : 20.11.2017 р. Надрукована/Printed :04.02.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.Г.Здоренко

УДК 621.01

Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, С.А. РОМАШКЕВИЧ
Одесская национальная академия пищевых технологий

КИНЕТОСТАТИКА МОДИФИКАЦИЙ ГРУПП АССУРА ТРЕТЬЕГО КЛАССА ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА. ЧАСТЬ 2. МОДИФИКАЦИИ С ТРЕМЯ И ЧЕТЫРЬМЯ ПОСТУПАТЕЛЬНЫМИ КИНЕМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМИ

В работе рассмотрены возможные модификации группы Ассура с тремя и четырьмя поступательными кинематическими парами. Представлено решение задач пяти модификаций, охватывающих возможные варианты конструктивного видоизменения группы Ассура третьего класса, третьего порядка с тремя и четырьмя поступательными парами. Доказано, что модификации группы два поводка, которых образуют по две поступательные кинематические пары, а также с пятью и шестью поступательными кинематическими парами не могут существовать, т.к. не удовлетворяют условиям группы Ассура.

Ключевые слова: группа, модификация, кинетостатика, поступательная пара, местная подвижность.

R. V. AMBARTSUMYANTS, S. A. ROMASHKEVICH
Odessa National Academy of Food Technologies

DYNAMIC FORCE ANALYSIS OF ASSOURE GROUP MODIFICATIONS OF THE THIRD CLASS OF THE THIRD ORDER. PART 2. MODIFICATION WITH THREE AND FOUR SLIDING KINEMATIC PAIRS

When transferring mechanical energy to some distance, the details of mechanical systems experience the elastic deformations of different types. For preventing plastic deformations it's necessary to determine maximum values of the forces, transferred by them. In the technical literature, a method of dynamic force analysis is used for this purpose and it allows to bring the task of kinematics of mechanisms to the tasks of statics. In the first part of this job (see Reference) it was determined that the total number of modifications of the 3rd class group of the third order by Assoure – Artobolevsky classification reaches fifty six. However, due to isomorphousness of some of their schemes, a genuine number of modifications significantly decreases. In contrast to the first part of this job, where solutions of the dynamic force analysis tasks of the modifications of the group with one or two sliding kinematic pairs were presented, in this work possible modifications of the group with three or four sliding kinematic pairs have been considered. For exclusion of local mobilities, assumptions have been accepted, in particular the lines of movement of sliding kinematic pairs on one and the same carrier are not strictly parallel. The solution of the tasks of five modifications, covering possible variants of structural modification of Assoure group of the third class, of the third order with three and four sliding pairs, has been presented. It has been proved that modifications of the group, two carriers of wich form two sliding kinematic pairs each, as well as with five and six sliding kinematic pairs, can't exist, as, either local mobilities appear in them, or the group becomes a mechanism. So, it can be stated, that from fifty six possible variants of the modifications of Assoure group of the third class of the third order, only nine variants with one, two, three and four sliding kinematic pairs are constructively realized are constructively realized, and thirty seven variants are isomorphous.

Key words: group, modification, dynamic force analysis, local mobility, sliding pair.

В работе [1] представлено решение задач кинетостатики группы Асура третьего класса третьего порядка. Рассмотрены модификации группы с одной и двумя поступательными кинематическими парам. Цель этой работы – решение задач кинетостатики других модификаций этой же группы.

При решении намеченных задач приняты следующие допущения:

- при образовании различных модификаций линии перемещения смежных поступательных кинематических пар на одном и том же звене не параллельны, в противном случае возникает местная подвижность;
- кинематические показатели звеньев известны;
- звенья группы абсолютно жесткие;
- зазоры в кинематических парах отсутствуют;
- на первом этапе кинетостатики силы трения не учитываем (при необходимости можно воспользоваться методом последовательного приближения [2]).

Для решения поставленных задач используем, как и ранее, общепринятые методы разложения реакций на составляющие [2 и др.] и параллельный перенос сил при необходимости.

Для упрощения рисунков, внешние силы, а также силы инерции и моменты сил инерции на рисунках не показаны.

Задача 1. Модификация, в которой все концевые шарниры заменены поступательными парами (рис. 1,а).

Решение задачи начинаем изучением равновесного состояния поводков 5 (рис. 1, б), 2 (рис. 1, в), 4 (рис. 1, г). Реакции в шарнирах D, G, E разлагаем на составляющие – по направляющим $x_5 - x_5$, $x_2 - x_2$, $x_4 - x_4$ и перпендикулярно к ним соответственно. Из уравнения равновесия проекций сил звеньев 5, 2, 4 на направляющие $x_5 - x_5$, $x_2 - x_2$, $x_4 - x_4$ находим векторы $\overline{R}_{35}^t$, $\overline{R}_{32}^t$, $\overline{R}_{34}^t$. Загружаем базовое звено 3 (рис. 1, д) векторами $\overline{R}_{53}^n = -\overline{R}_{35}^n$, $\overline{R}_{23}^n = -\overline{R}_{32}^n$, $\overline{R}_{43}^n = -\overline{R}_{34}^n$, $\overline{R}_{53}^t = -\overline{R}_{35}^t$, $\overline{R}_{23}^t = -\overline{R}_{32}^t$, $\overline{R}_{43}^t = -\overline{R}_{34}^t$. На пересечении

линий действия неизвестных векторов $\overline{R}_{53}^{n}$ и $\overline{R}_{23}^{n}$ находим особую точку Ассура S_1. Из уравнения равновесия моментов сил звена 3 относительно точки S_1 находим вектор $\overline{R}_{43}^{n}$. Неизвестные векторы $\overline{R}_{53}^{n}$ и $\overline{R}_{23}^{n}$ находим из плана сил звена 3, построенного на основании векторного уравнения равновесия сил этого же звена. Неизвестные реакции $\overline{R}_{05}$, $\overline{R}_{12}$ и $\overline{R}_{04}$ находим из уравнений равновесия проекций сил звеньев 5, 2 и 4 на прямые, перпендикулярные направляющим $x_5 - x_5$, $x_2 - x_2$, $x_4 - x_4$ соответственно. Точки приложения векторов $\overline{R}_{05}$, $\overline{R}_{12}$ и $\overline{R}_{04}$ (расстояния x_{05}, x_{12}, x_{04}, рис.1. б, в, г) находим из уравнения равновесия моментов сил звеньев 5, 2 и 4 относительно центров шарниров D, G, E соответственно.

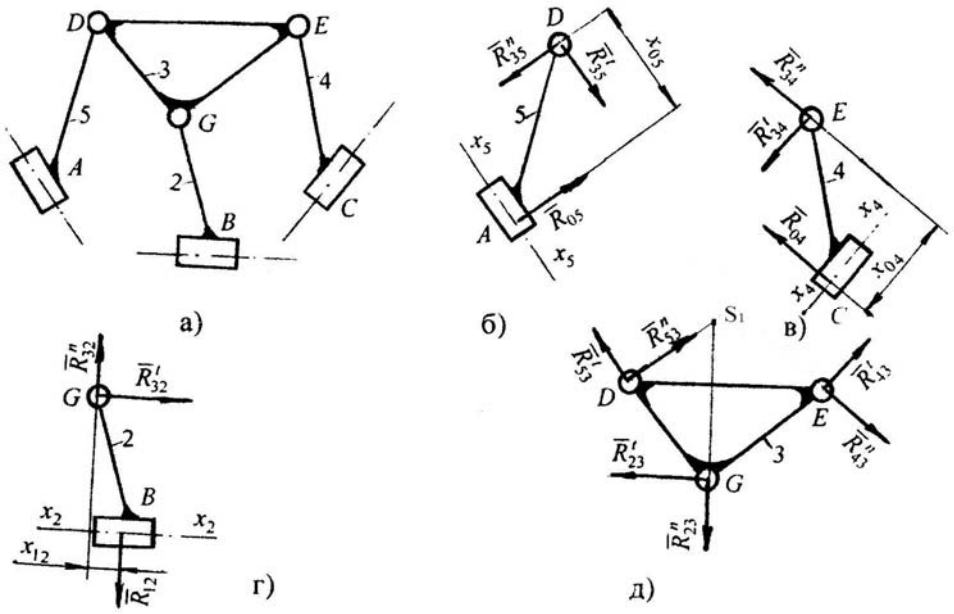


Рис. 1. Модификация группы Ассура: а – с трема поступательными парами в концах поводков, б, в, г д – расчетные схемы звеньев группы

Задача 2. Модификация с тремя поступательными парами, образованными заменой концевого шарнира одного из поводков и двух шарниров другого поводка (рис. 2, а).

Решение этой задачи выполняем по следующей последовательности:

1. Строим план сил звена 5 и находим реакции $\overline{R}_{05}$ и $\overline{R}_{35} = -\overline{R}_{53}$ (рис. 2, б);

2. Рассматриваем равновесие звена 2 (рис. 2, в); реакцию в шарнире G разлагаем на составляющие $\overline{R}_{32}^{t}$ – параллельно линии $x_2 - x_2$ и перпендикулярно к ней – $\overline{R}_{32}^{n}$. Из уравнения равновесия проекций сил звена 2 на линию $x_2 - x_2$ находим вектор $\overline{R}_{32}^{t}$.

3. В шарнире E звена 4 неизвестную реакцию разлагаем на составляющие $\overline{R}_{34}^{n}$ – по продольной оси звена и $\overline{R}_{34}^{t}$ – в перпендикулярном направлении. Из уравнения равновесия моментов сил звена 4 относительно центра шарнира C находим вектор $\overline{R}_{34}^{t}$ (на рис. 2, а эти силы не показаны).

4. Рассматриваем равновесие звена 3. Загружаем его векторами $\overline{R}_{43}^{n} = -\overline{R}_{34}^{n}$, $\overline{R}_{43}^{t} = -\overline{R}_{34}^{t}$, $\overline{R}_{23}^{t} = -\overline{R}_{32}^{t}$, $\overline{R}_{23}^{n} = -\overline{R}_{32}^{n}$ (рис. 2, г). На звене 3 всего два неизвестных вектора $\overline{R}_{43}^{n}$ и $\overline{R}_{23}^{n}$. Их легко определить из плана сил, построенного на основании векторного уравнения равновесия сил звена 3.

5. Точку приложения L реакции $\overline{R}_{53} = -\overline{R}_{35}$ (расстояние x_{53}, рис. 2, г) находим из уравнения равновесия моментов сил относительно точки, например, S_1, полученной в пересечении направлений векторов $\overline{R}_{43}^{n}$, $\overline{R}_{23}^{n}$ (*примечание: если точка S_1 находится слишком далеко, за пределами чертежа, можно использовать центр шарнира G*).

6. Точку приложения реакции $\overline{R}_{05}$ (расстояние x_{05} рис. 2, б) находим из уравнения равновесия моментов сил, действующих на звено 5 относительно точки приложения L реакции $\overline{R}_{35}$.

7. Полную реакцию в шарнире C определим из плана сил, построенного для звена 4.

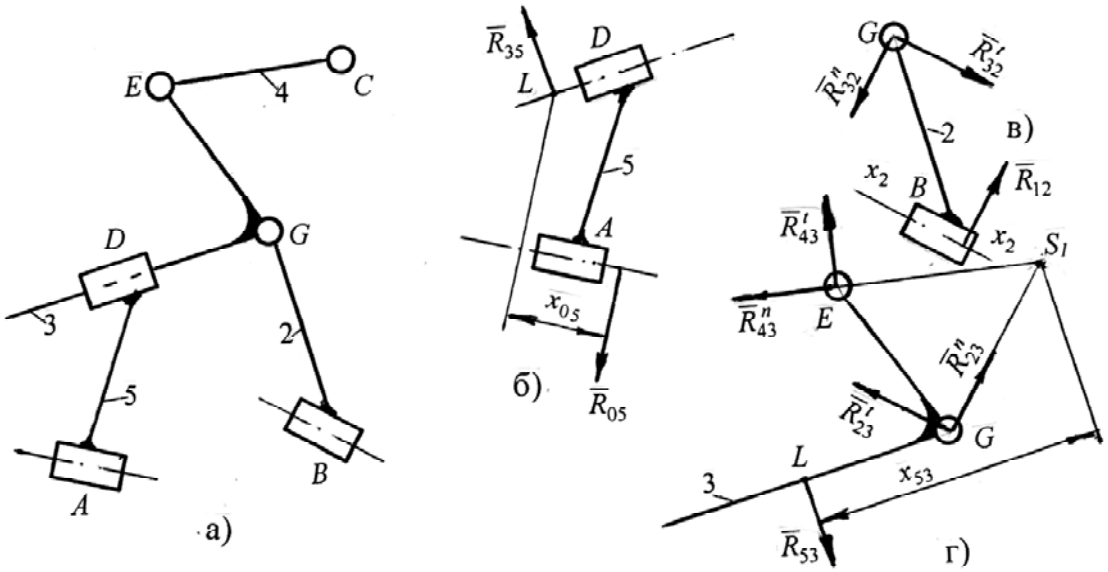


Рис. 2. Модификация группы Ассура: а – с тремя поступательными парами, б – расчетная схема звена 5, в – расчетная схема звена 2, г – расчетная схема звена 3

Задача 3. Модификация с четырьмя поступательными парами, образованными поводками (рис. 3, а).

В данном случае целесообразно рассмотреть отдельно равновесия звеньев 5, 4, 2 и 3. Из плана сил звена 5 (рис. 3, б) непосредственно находим векторы $\overline{R}_{05}$ и $\overline{R}_{35}$. Путем разложения реакций в шарнирах G и E на составляющие по направляющим $x_2 - x_2$, $x_{04} - x_{04}$ поступательных пар и перпендикулярно, из уравнений равновесия проекций сил по направляющим $x_2 - x_2$, $x_{04} - x_{04}$ находим реакции $\overline{R}^t_{34}$, $\overline{R}^t_{32}$ (рис. 3, в, г). Нагружаем звено 3 силами $\overline{R}_{53} = -\overline{R}_{35}$, $\overline{R}^n_{43} = -\overline{R}^n_{34}$, $\overline{R}^t_{43} = -\overline{R}^t_{34}$, $\overline{R}^t_{23} = -\overline{R}^t_{32}$, и $\overline{R}^n_{23} = -\overline{R}^n_{32}$ (рис. 3, д). Из условия равенства нулю главного вектора системы сил звена 3 построим план сил, откуда находим векторы $\overline{R}^n_{43}$, $\overline{R}^n_{23}$. Из уравнения равновесия моментов сил звена 3 относительно центра шарнира, например, G находим точку приложения L вектора $\overline{R}_{53} = -\overline{R}_{35}$ (расстояние x_{53}, рис. 3, д). Из уравнения равновесия моментов сил звена 5 (рис. 3, б) относительно точки L на него, находим точку приложения реакции $\overline{R}_{05}$ (расстояние x_{05}). Векторы $\overline{R}_{12}$ и $\overline{R}_{04}$ находим из уравнений проекций сил звеньев 2 и 4 на прямые, перпендикулярные направляющим $x_2 - x_2$, $x_4 - x_4$ (рис. 3, г, в), а точки их приложения (расстояния x_{12} и x_{04}) – из уравнения моментов сил звеньев 2 и 4 относительно центров шарниров G и E.

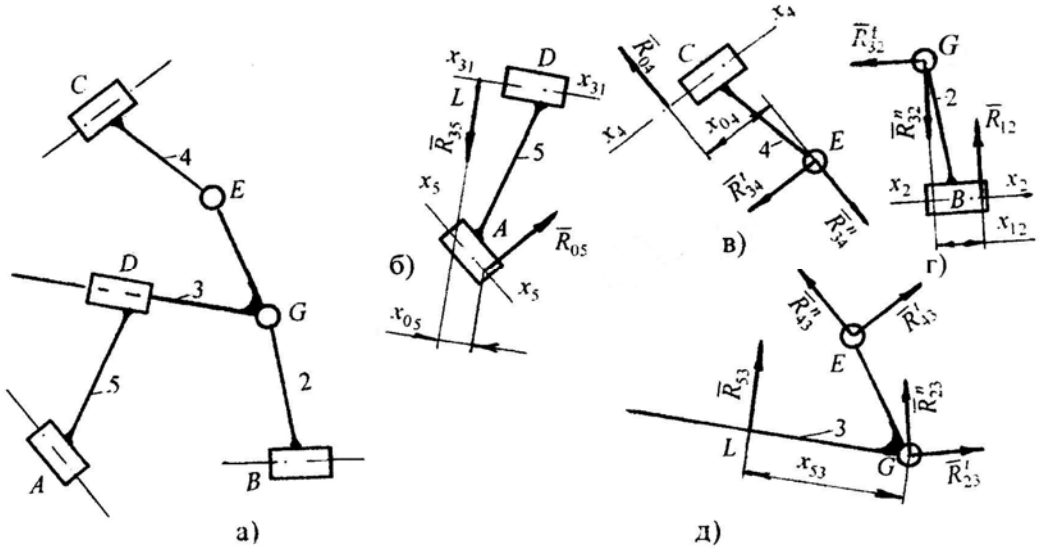


Рис. 3. Модификация группы Ассура: а – с четырьмя поступательными парами, б, г, д – расчетные схемы звеньев 5, 4, 2 и 3 соответственно

Задача 4. Модификация с тремя поступательными парами на базовом звене 3 (рис. 4). Решение задачи этой модификации можно привести к решению задачи для группы Ассура с вращательными парами.

Обозначим стороны базового звена 3 через $x_{32}-x_{32}$, $x_{34}-x_{34}$, $x_{35}-x_{35}$. Реакции в шарнирах A, B, C разлагаем на составляющие по направляющим $x_{32}-x_{32}$, $x_{34}-x_{34}$, $x_{35}-x_{35}$ соответственно и им перпендикулярно. Из уравнения равновесия проекций сил звеньев 2, 4 и 5 на направляющие $x_{32}-x_{32}$, $x_{34}-x_{34}$, $x_{35}-x_{35}$, находим векторы $\overline{R}_{12}^{t}$, $\overline{R}_{04}^{t}$, $\overline{R}_{05}^{t}$. Находим особую точку Ассура на группе, например, S_1 в пересечении линий действия неизвестных векторов $\overline{R}_{12}^{n}$, $\overline{R}_{04}^{n}$. Из уравнения равновесия моментов сил группы относительно точки S_1 находим неизвестный вектор $\overline{R}_{04}^{n}$. Построив план сил группы, находим неизвестные векторы $\overline{R}_{12}^{n}$, $\overline{R}_{05}^{n}$. Из уравнений равновесия проекций сил звеньев 2, 4, 5 на прямые, перпендикулярные соответственно направляющим $x_{32}-x_{32}$, $x_{34}-x_{34}$, $x_{35}-x_{35}$ находим векторы сил $\overline{R}_{32}=-\overline{R}_{23}$, $\overline{R}_{34}=-\overline{R}_{43}$, $\overline{R}_{35}=-\overline{R}_{53}$. Из уравнения равновесия моментов сил относительно центров шарниров B, C и A этих же звеньев находим расстояния x_{12}, x_{04}, x_{05}, определяющие точки приложения внутренних реакций $\overline{R}_{23}=-\overline{R}_{32}$, $\overline{R}_{43}=-\overline{R}_{34}$ и $\overline{R}_{53}=-\overline{R}_{35}$.

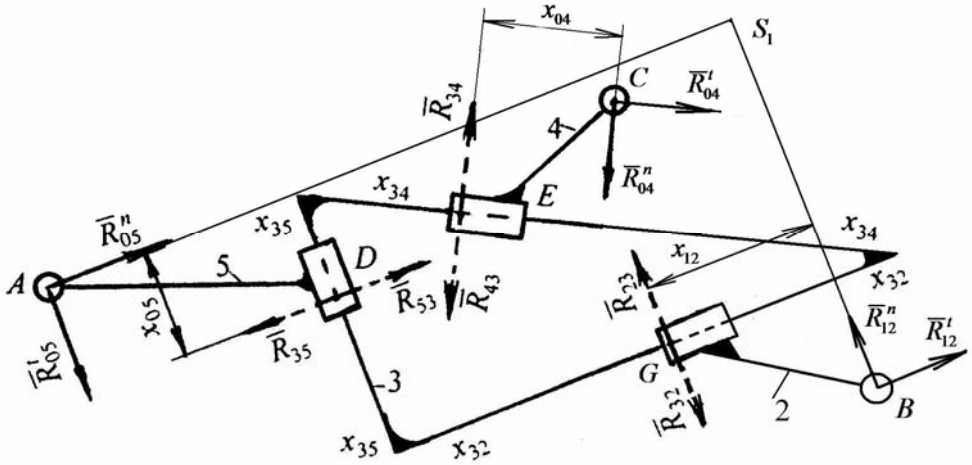


Рис. 4. Модификация группы Ассура с тремя поступательными парами на базовом звене

Задача 5. Модификация с тремя поступательными парами на базовом звене и одной поступательной парой на конце одного из поводков (рис. 5, а).

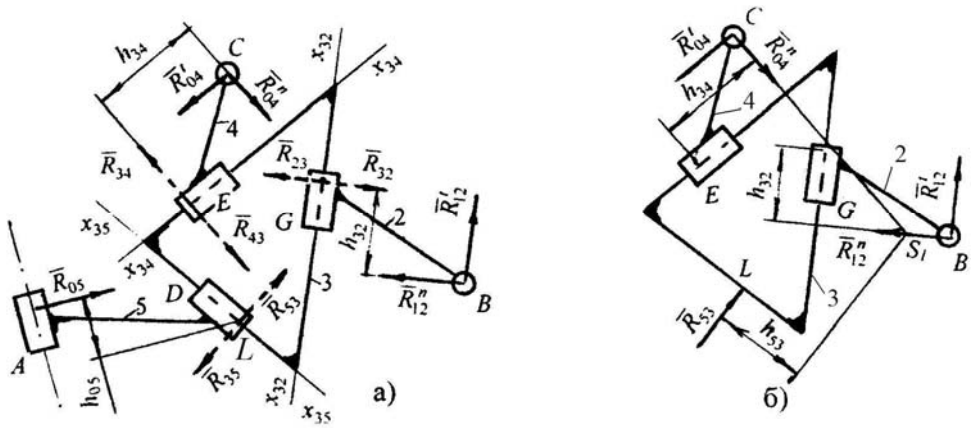


Рис. 5. Модификация группы Ассура: а – с тремя поступательными парами на базовом звене и одной поступательной парой на конце одного из поводков, б – кинематическая цепь 2-3-4

Решим поставленную задачу методом разложения сил на взаимно перпендикулярные составляющие. Обозначим, как и в предыдущей задаче, направляющие поступательных пар на звене 3 через $x_{32}-x_{32}$, $x_{34}-x_{34}$, $x_{35}-x_{35}$ (рис. 5, а). Реакцию в шарнире B представим составляющими $\overline{R}_{12}^{t}$ – параллельно направляющей $x_{32}-x_{32}$ и $\overline{R}_{12}^{n}$ – перпендикулярно. Аналогичным образом поступаем с реакцией в шарнире C (рис. 5, а). На базовом звене 3 показываем внутренние реакции $\overline{R}_{23}=-\overline{R}_{32}$,

$\overline{R}_{43} = -\overline{R}_{34}$ и $\overline{R}_{35} = -\overline{R}_{53}$ (на рис. пунктирно), а реакцию в кинематической паре A $\overline{R}_{05}$ направим перпендикулярно к направляющей этой поступательной пары. Из плана сил, построенного для звена 5, находим векторы $\overline{R}_{05}$ и $\overline{R}_{35} = -\overline{R}_{53}$, а из уравнений проекции сил звеньев 2 и 4 на направляющие $x_{32} - x_{32}$, $x_{34} - x_{34}$ соответственно, находим векторы $\overline{R}^t_{12}$ и $\overline{R}^t_{04}$. Для определения неизвестных $\overline{R}^n_{12}$, $\overline{R}^n_{04}$ рассматриваем кинематическую цепь 2-3-4 (рис.5, б) и на основании векторного уравнения равновесия сил строим ее план сил. Неизвестные векторы $\overline{R}_{23} = -\overline{R}_{32}$, $\overline{R}_{43} = -\overline{R}_{34}$ находим уз уравнения проекций сил звеньев 2 и 4 на прямые, перпендикулярные направляющим $x_{32} - x_{32}$, $x_{34} - x_{34}$ соответственно. На пересечении линий действия векторов $\overline{R}^n_{12}$ и $\overline{R}^n_{04}$ находим особую точку Ассура S_1 (рис. 5, б). Из уравнения равновесия моментов сил цепи 2-3-4 относительно точки S_1 находим расстояние h_{53}, которое определяет точку приложения L реакции $\overline{R}_{53}$. Тогда, из уравнения равновесия моментов сил звена 5 относительно точки L (рис. 5, а) находим расстояние h_{05}, что определяет точку приложения реакции $\overline{R}_{05}$. Точки приложения векторов $\overline{R}_{23} = -\overline{R}_{32}$, $\overline{R}_{43} = -\overline{R}_{34}$ находим из уравнений равновесия моментов звеньев 2 и 4 относительно центров шарниров B, C соответственно (расстояния h_{34} и h_{32}, рис. 5, а).

Задача 6. Рассмотрим модификацию, в которой два поводка образуют по две поступательные кинематические пары (рис.6, а), причем выполняется принятое раннее условие не параллельности линий перемещения в поступательных кинематических парах на одном и том же поводке.

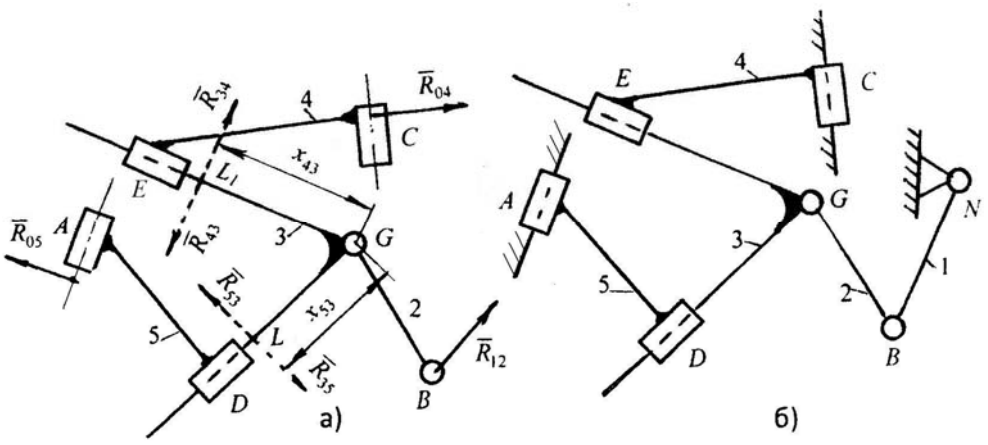


Рис. 6. Модификация группы Ассура: а – с двумя поводками, образующими по две поступательные кинематические пары, б – механизм с одной степенью свободы

Заметим, что реакции в поступательных кинематических парах, A, D и C, E легко определить. Действительно из плана сил звеньев 4 и 5 находим реакции в кинематических парах C, E, A, D. Из плана сил звена 3 находим реакция в шарнире G, а из плана сил звена 2 – реакцию в шарнире B. Нахождение точек приложения реакций $\overline{R}_{43} = -\overline{R}_{34}$ и $\overline{R}_{35} = -\overline{R}_{53}$ в поступательных кинематических парах невозможно, т.к. число неизвестных на звеньях 3, 4, и 5 больше числа уравнений статики. Это можно объяснить следующим. Рассмотрим механизм с одной степенью подвижности, синтезированный на основе данной модификации группы (рис.6, б).

Согласно формуле Чебышева убеждаемся, что механизм имеет одну обобщенную координату.

Предположим, входным звеном механизма является звено 5. Выделим из состава механизма группу Ассура 1-2, (рис. 7, а). При условии, что входным выбрано звено пять, можно выделить еще одну группу из звеньев 3-4 (рис. 7, б). Легко убедиться, что сочетание звеньев 3-4 с поступательными парами является механизмом. Таким образом, можно утверждать, что модификации групп Ассура с четырьмя поступательными парами, образованными попарно с двумя поводками не могут существовать. Аналогичным образом легко доказать, что модификации с пятью и шестью поступательными парами также не могут существовать, т.к. в них появляются местные подвижности отдельных звеньев или их систем, что приводит к исключению понятия группы Ассура.

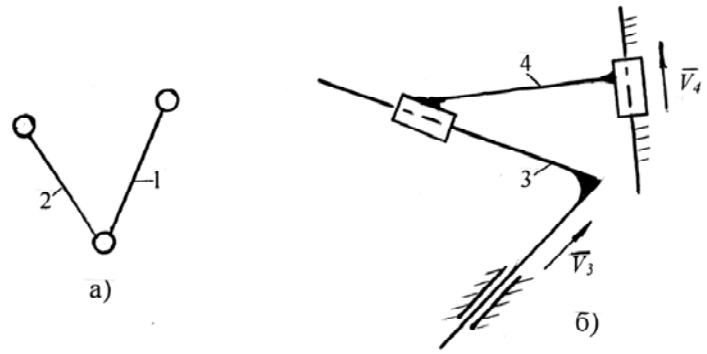


Рис. 7. Группа Ассура: а – второго порядка, б – кинематическая цепь 3-4

Таким образом, в данной работе решены задачи кинетостатики других возможных модификаций группы Ассура третьего класса третьего порядка, которые практически могут быть реализованы.

Выводы:

1. Модификаций групп Ассура третьего класса третьего порядка, у которой два поводка образуют по две поступательные кинематические пари, не могут существовать, так как не выполняется условие группы Ассура.

2. Модификаций групп Ассура третьего класса с пятью и шестью поступательными кинематическими парами не могут существовать, так как в них появляются местные подвижности или отдельных звеньев или их систем и не выполняется условие группы Ассура.

3. Конструктивно из пятидесяти шести возможных вариантов модификаций группы Ассура третьего класса третьего порядка, реализуемые лишь девять с одной, двумя, тремя и четырьмя поступательными кинематическими парами, тридцать семь являются изоморфными, а десять модификаций с четырьмя, пяти и шести поступательными парами не могут существовать в виду появления в них местных подвижностей.

Литература

1. Амбарцумянц Р. В. Кинетостатика модификаций групп Ассура третьего класса третьего порядка. Часть 1. Модификации с одной и двумя поступательными кинематическими парами / Р.В. Амбарцумянц, С.А. Ромашкевич // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 4. – С. 45–51.

2. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин : учеб. для вузов / И.И. Артоболевский. – 4-е изд., перераб. и допол. − М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1988. – 640 с.

References

1. Ambartsumyancz R.V. Kinetostatika modifikaczij grupp Assura tretego klassa tretego poryadka. Chast 1. Modifikaczii s odnoj i dvumya postupatelny'mi kinematicheskimi parami / R.V. Ambarczumyancz, S.A. Romashkevich // Herald of Khmelnytskyi national University. – 2017. – № 4. – S. 45–51.

2. Artobolevskij Y.Y. Teoryiya mexanizmov i mashyn: Ucheb. dlya vuzov / Y.Y. Artobolevskij. – 4-e izd., pererab. i dopol. – M.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat.lit, 1988. – 640 s.

Рецензія/Peer review : 31.10.2017 р. Надрукована/Printed :19.01.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Гладушняк А.К.

УДК 621.787.6

А.А. ОРГИЯН, В.В. СТРЕЛЬБИЦКИЙ
Одесский национальный политехнический университет

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ОБКАТЫВАНИЯ РОЛИКОМ НА ФОРМИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Изложены результаты экспериментальных исследований по изучению влияния подачи, скорости и количества проходов на шероховатость поверхности вала. Установлено, что в диапазоне изменения варьируемых параметров с увеличением скорости, количества проходов и уменьшением подачи значение шероховатости приближается к оптимальной – регламентируемой техническими условиями. При одинаковых условиях обработки шероховатость валов из стали 40Х на 15–35% больше шероховатости валов из стали 45.

Ключевые слова: шероховатость, обкатывание роликом, подача ролика.

A.A. ORGIJAN, V.V. STRELBITSKIY
Odessa National Polytechnic University

INFLUENCE OF MODES OF ROLLING-OFF BY ROLLER ON FORMING OF ROUGHNESS OF SURFACE

The results of experimental studies on the effect of feed, speed and number of passes on the roughness of the shaft surface are presented. One of the promising methods that have become more widely used at the final stages of processing is surface plastic deformation, the essence of which is that the required dimensions and quality characteristics are achieved by plastic shaping of the surface layer of the material. Due to plastic deformation, the surface layer is hardened, residual compressive stresses occur. Difficulties in applying this processing of parts are due to the fact that in each specific case additional studies are required, since the parameters of processing regimes are assigned based on the results obtained empirically, which does not always lead to the desired result. The most widespread use in practice was the treatment of PPD with a roller. Analysis of the obtained dependences of the roughness of the shafts on the speed testifies to their practically linear dependence. Under the same machining conditions, the roughness of the 40X steel shafts is 20-25% greater than the roughness of the shafts of steel 45. Should be noted that increasing the speed to 180 m / min does not lead to a noticeable decrease in the roughness, a further increase in it leads to an increase in Ra. Analysis of the dependence of the roughness of the shaft surfaces Ra on the feed shows that for steel 40X it approaches linear, for steel 45 it has a nonlinear character. Under the same processing conditions, the roughness of 40X steel shafts is 20-35% higher than the roughness of shafts made of steel 45. The analysis of the obtained experimental roughness dependences on the number of passes showed that they are non-linear in nature, the minimum roughness values are realized on the 2 passes. With the increase in the number of passes, the subsurface layer of the workpiece undergoes a perforation, and the resulting compressive stresses may exceed the tensile strength of the workpiece material. Under the same machining conditions, the roughness of the 40X steel shafts is 15-20% greater than the roughness of the shafts made of steel 45.

Keywords: roughness, roller chiselling, roller feed.

Постановка проблемы. Характерной чертой современного машиностроения является постоянное ужесточение технических требований к эксплуатационным характеристикам выпускаемой продукции.

Следует отметить, что эксплуатационные свойства изделий машиностроения зависят от качества поверхностного слоя отдельных деталей и узлов, причем формирование последнего происходит на финишных операциях обработки [1–4]. Поэтому проблема технологического обеспечения качества поверхностного слоя деталей является актуальной задачей.

Анализ последних публикаций. Одним из перспективных способов, получивших все более широкое применение на финишных этапах обработки, является поверхностное пластическое деформирование (ППД), сущность, которого состоит в том, что требуемые размеры и качественные характеристики достигаются пластическим формоизменением поверхностного слоя заготовки [1–9]. Вследствие пластической деформации происходит наклеп поверхностного слоя, возникают остаточные напряжения сжатия и увеличивается микротвердость.

Трудности применения указанной обработки деталей связаны с тем, что в каждом конкретном случае требуют проведения дополнительных исследований, так как параметры режимов обработки назначаются исходя из результатов, полученных эмпирических путем, что не всегда приводит к желаемому результату.

Наиболее широкое применение в практике получила обработка ППД роликом.

В работах [3–9] показано, что на шероховатости обработанных поверхностей деталей оказывают влияние режимы ППД. Следует отметить, что приведенные в них данные обладают малой информативностью и не показывает всей картины процесса обработки.

Поэтому **целью исследования** является изучение влияния подачи, скорости обработки и количества проходов на шероховатость поверхности.

Изложение основного материала. В эксперименте были исследованы предварительно обточенные образцы 2 (рис. 1), диаметром 40 мм, из стали 45 и 40Х, шероховатость поверхностей (рис. 2) которых была одинакова и составляла *Ra* =2,5 мкм.

Роликовый накатник 1 (рис.1) шириной 9 мм устанавливали в резцедержатель станка таким образом, чтобы его ось находилась на высоте центров станка и была ей перпендикулярна, а задний угол между поверхностями ролика и вала составлял 1°.

Рис. 1. Схема обкатки роликом (1) вала (2)

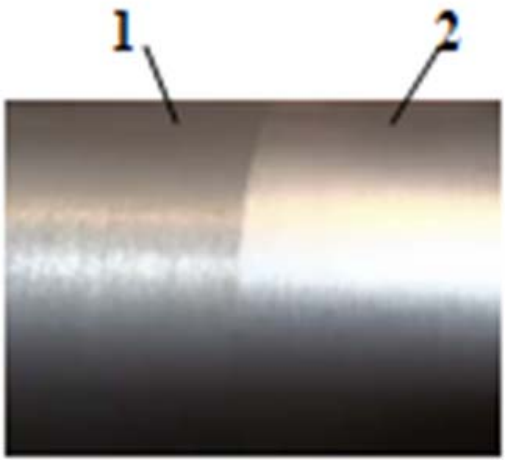


Рис. 2. Фото поверхности вала до (1) и после (2) обработки

На первом этапе определялось влияние скорости вращения валов из стали 40Х и 45 на шероховатость его поверхности при усилии – прижатия инструмента к обкатываемой поверхности P = 700 Н, продольной подаче S = 0,1 мм/об, глубине t = 0,2 мм в один проход и пяти значений скоростей обкатывания V = 60, 80, 100, 120 и 130 (м/мин), с применением СОЖ – индустриального масла. Поверхности валов обкатывались роликами в один проход. Усилие обкатывания задавалось поперечным перемещением суппорта станка (ролика) по лимбу, его величина устанавливалась по тарировочным графикам накатывания стали 45 и 40Х цилиндрическими роликами шириной 9 мм.

По завершению цикла обработки на каждой из скоростей валы снимали, измеряли шероховатости обкатанных поверхностей вала с помощью профилометра «Surtronic 10 Ra Surface Tester», позволяющий определяет средние значения шероховатости поверхности с точностью до 0,1 мкм (рис. 3).

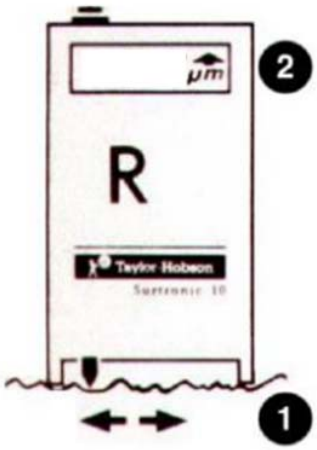


Рис. 3. Общий вид профилометра «Surtronic 10 Ra»: 1 – перемещение измерительной иглы, 2 – дисплей с показаниями среднего значения шероховатостей

Действие прибора основано на принципе ощупывания неровностей исследуемой поверхности алмазной иглой с последующим преобразования механических колебаний щупа в изменения напряжения, пропорциональным амплитуде этих колебаний, которые усиливаются и преобразуются электронным блоком, при этом их значения усредняются и высвечиваются на дисплее прибора.

Опыты повторяли трижды, результаты – усредняли.

Полученные зависимости шероховатости *Ra* поверхности от скорости вращения вала представлены на рис.4, где экспериментальные значения показаны в виде точек, кривые – результаты аппроксимации.

Анализ результатов свидетельствует о практически линейной зависимости шероховатости *Ra* от скорости, причем при одинаковых условиях обработки шероховатость валов из стали 40Х на 20–25 % больше шероховатости валов из стали 45.

Следует отметить, что увеличение скорости до 180 м/мин не приводит к заметному уменьшению шероховатости, дальнейшее ее увеличение – приводит к повышению *Ra*.

Результаты экспериментов свидетельствуют о возможностях определения оптимальных (регламентированных техническими условиями) значений шероховатости.

Исследования по установлению влияния подачи ролика на шероховатость поверхностей валов производили по описанной выше методике, на следующих технологических режимах: P = 700 Н, V_1 = 100 м/мин, t = 0,2 мм, СОЖ – индустриальное масло, в один проход, при следующих значениях подач подачах – S = 0,05, 0,1, 0,15, 0,2, 0,25, 0,3, 0,4 мм/об.

По завершению цикла обработки на каждой из подач валы снимали и измеряли шероховатости обкатанных поверхностей. Результаты экспериментов представлены на рис. 5.

Анализ зависимостей шероховатости обкатанных поверхностей Ra от подачи показывает, что для стали 40Х она приближается к линейной, для стали 45 – носит нелинейный характер. При одинаковых условиях обработки шероховатость валов из стали 40Х на 20–35% больше шероховатости валов из стали 45.

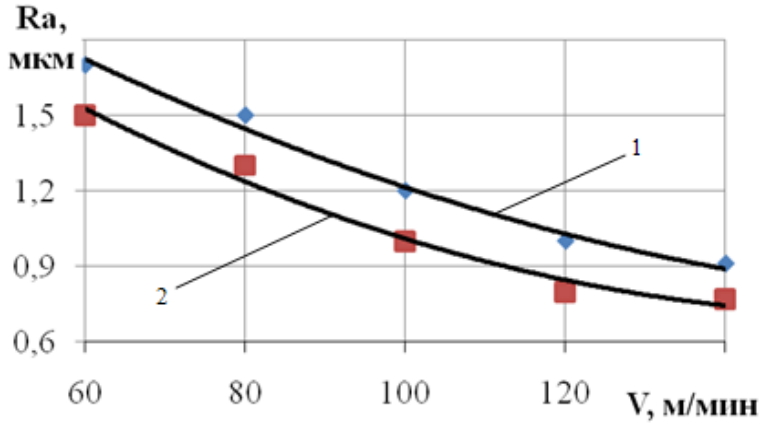


Рис. 4. Зависимость шероховатости поверхности Ra от скорости вращения V вала при обработке валов из сталей 40Х (1) и 45 (2)

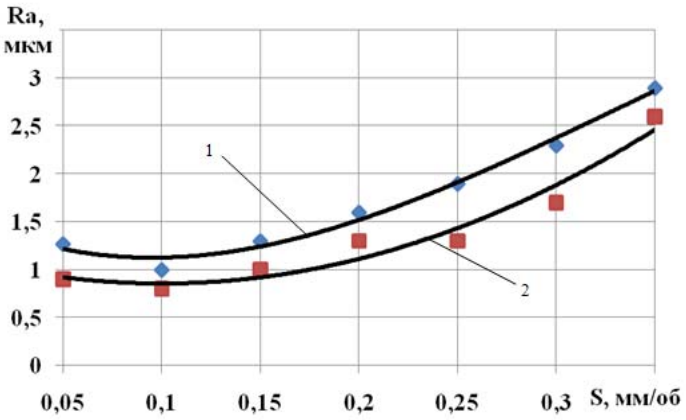


Рис. 5. Зависимость шероховатости поверхности Ra от подачи S ролика при обработке валов из сталей 40Х (1) и 45 (2)

С уменьшением подачи – шероховатость уменьшается, что вполне согласуется с геометрическими зависимостями для роликов [2–7]. Следует отметить, что при достижении некоторой критической величины подачи параметр *Ra* начинает увеличиваться, поскольку каждая точка поверхностного слоя даже при одном рабочем ходе ролика подвергается пластическому воздействию несколько раз. Данное явление мы наблюдали при проведении экспериментов, его можно объяснить тем, что зона пластической деформации, которая образуется в стыке ролика с валом, перемещается вдоль оси в направлении продольной подачи *S* и многократно “накрывает” каждую точку поверхностного слоя.

Установление влияния числа проходов ролика на шероховатость поверхности вала исследовали при следующих режимах обкатывания: P = 700 Н, V_1 = 100 м/мин, t = 0,2 мм, S_1 = 0,1 мм/об, СОЖ – индустриальное масло, в один затем в 2, 3 и 4 прохода. Зависимости шероховатости обкатанной поверхности валов от количества проходов представлены на рис. 6.

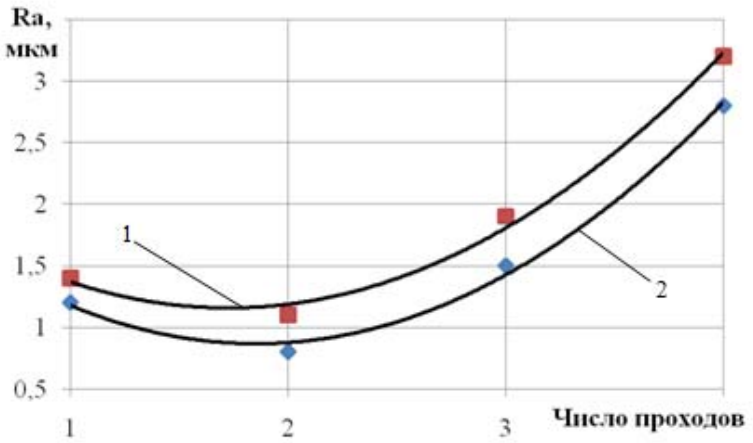


Рис. 6. Зависимость шероховатости поверхности Ra от числа проходов ролика при обработке валов из сталей 40Х (1) и 45 (2)

Анализ полученных экспериментальных зависимостей показал, что они носят нелинейный характер,

минимальные значения шероховатостей реализуются на 2-м проходе. С увеличением числа проходов – подповерхностный слой детали подвергается перенаклёпу, а сформировавшиеся при этом сжимающие напряжения могут превысить предел прочности материала детали, что приведет к «шелушению» обрабатываемой поверхности, т.к. формируются микрообъемные разрушения и отслоение в перенаклепанном слое.

При одинаковых условиях обработки шероховатость валов из стали 40Х на 15–20% больше шероховатости валов из стали 45.

В дальнейшем авторами статьи планируется провести комплексные исследования по установлению зависимостей шероховатости поверхности от совместного изменения отдельных режимов обкатывания с учетом производительности обработки.

Выводы

Анализируя полученные в работе экспериментальные зависимости шероховатостей обкатанных роликами поверхностей, можно сделать вывод, что на шероховатость вала влияют материал заготовки, подача, скорость обработки и количество проходов роликом. В экспериментах установлены оптимальные значения шероховатостей. С увеличением скорости накатывания, количества проходов и уменьшением подачи величина шероховатости уменьшается до определенных минимальных значений, заданных техническими условиями.

Литература

1. Каледин Б.А. Повышение долговечности деталей поверхностным деформированием / Б.А. Каледін, П.А. Чепа. – Минск : Наука и техника, 1974. – 230 с.

2. Бабей Ю.И. Поверхностное упрочнение металлов / Ю.И. Бабей, Б.И. Бутаков, В.Г. Сысоев – К. : Наукова думка, 1995. – 256 с.

3. Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В.М. Смелянский. – М. : Машиностроение, 2002. – 299 с.

4. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием / Д.Д. Папшев. – М. : Машиностроение, 1978. – 152 с.

5. Рыковский Б.П. Местное упрочнение деталей поверхностным наклепом / Б.П. Рыковский, В.А. Смирнов, Г.М. Щетинин. – М. : Машиностроение, 1985. – 152 с.

6. Шнейдер Ю. Г. Технология финишной обработки давлением : справ. / Ю. Г. Шнейдер. – СПб : Политехника, 1998. – 416 с.

7. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : Справочник / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.

8. 8. Коновалов Е.Г. Чистовая и упрочняющая ротационная обработка поверхностей / Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А. – Минск : Высшая школа, 1968. – 363 с.

9. Стрельбицкий В. В. Определение влияния усилий деформирования на шероховатость поверхности вала при накатывании роликом / В. В. Стрельбицкий, Я. Е. Сурков // Вимірюв. та обчислюв. техніка в технол. процесах : матеріали XVII міжнар. наук.-практ. конф., Одеса, 8–13 черв. 2017 р. – Одеса, 2017. – С. 51–52.

References

1. Kaledin B.A. Povyshenie dolgovechnosti detalej poverhnostnym deformirovaniem / B.A. Kaledin, P.A. Chepa. – Minsk: Nauka i tehnika, 1974. – 230 s.

2. Babej Ju.I. Poverhnostnoe uprochnenie metallov / Ju.I. Babej, B.I. Butakov, V.G. Sysoev – K.: Naukova dumka, 1995. – 256 s.

3. Smeljanskij V.M. Mehanika uprochnenija detalej poverhnostnym plasticheskim deformirovaniem / V.M. Smeljanskij. - M.: Mashinostroenie, 2002. - 299 s.

4. Papshev D.D. Otdelochno-uprochnjajushaja obrabotka poverhnostnym plasticheskim deformirovaniem / D.D. Papshev - M.: Mashinostroenie, 1978. - 152 s.

5. Rykovskij B.P. Mestnoe uprochnenie detalej poverhnostnym naklepom / B.P. Rykovskij, V.A. Smirnov, G.M. Shhetinin - M. : Mashinostroenie, 1985. - 152 s.

6. Shnejder, Ju. G. Tehnologija finishnoj obrabotki davleniem: sprav. / Ju. G. Shnejder. – SPb. : Politehnika, 1998. – 416 s.

7. Odincov, L. G. Uprochnenie i otdelka detalej poverhnostnym plasticheskim deformirovaniem : Spravochnik / L. G. Odincov. – M. : Mashinostroenie, 1987. – 328 s.

8. Konovalov E.G., Sidorenko V.A. Chistovaja i uprochnjajushhaja rotacionnaja obrabotka poverhnostej. – Minsk: Vysshaja shkola, 1968. – 363 s.

9. Strel'bickij V. V. Opredelenie vlijanija usilij deformirovanija na sherohovatost' poverhnosti vala pri nakatyvanii rolikom / V. V. Strel'bickij, Ja. E. Surkov // Vimirjuv. ta obchisljuv. tehnika v tehnol. procesah : materiali XVII mizhnar. nauk.-prakt. konf., Odesa, 8-13 cherv. 2017 r. – Odesa, 2017. - S. 51-52.

Рецензія/Peer review : 12.11.2017 р. Надрукована/Printed :10.02.2018 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК 677.055

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

ВПЛИВ ЗМАЩЕННЯ ПАР ТЕРТЯ МЕХАНІЗМУ В'ЯЗАННЯ В'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН НА ДОВГОВІЧНІСТЬ РОБОТИ КЛИНІВ

Механізм в'язання відноситься до основного механізму в'язальних машин. Ефективність його роботи залежить від динамічних навантажень, що виникають в результаті ударної взаємодії голок з клинами. Як показують дослідження, взаємодія робочих органів механізму в'язання призводить до динамічних навантажень пари голка-клин і, як наслідок, до зниження працездатності в'язальних машин та погіршення якості трикотажного полотна. Враховуючи вищесказане, актуальним питанням легкого машинобудування є вирішення проблеми аналізу впливу змащення пар тертя механізму в'язання на зниження динамічних навантажень пари голка-клин, що негативно впливає на довговічність роботи клинів. В результаті виконаних досліджень встановлено, що одним із ефективних шляхів зниження динамічних навантажень механізму в'язання є удосконалення процесу змащення пари голка-клин. Результати досліджень можуть бути використані при розробці нових моделей в'язаних машин та удосконалення існуючих їх конструкцій.

Ключові слова: механізм в'язання, в'язальна машина, змащення пар тертя механізму в'язання, динамічні навантаження механізму в'язання, динаміка взаємодії голки з клином, зниження динамічних навантажень пари голка-клин.

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

INFLUENCE OF LUBRICATION OF FRICTION PAIRS OF THE KNITTING MACHINE KNITTING MECHANISM ON THE DURABILITY OF THE WEDGE WORK

The knitting mechanism refers to the basic mechanism of knitting machines. The effectiveness of its operation depends on the dynamic loads that arise as a result of impact interaction of needles with wedges. As studies show, the interaction of the working mechanisms of the knitting mechanism leads to dynamic loads of the needle-wedge pair and, as a consequence, to a decrease in the performance of knitting machines and a deterioration in the quality of the knitted fabric. In view of the foregoing, the current issue of light engineering is the solution of the problem of analyzing the effect of lubrication of friction pairs on the knitting mechanism on reducing the dynamic loads of the needle-wedge pair, which adversely affects the durability of the wedge work. As a result of the performed studies, it has been established that one of the effective ways to reduce the dynamic loads of the knitting mechanism is to improve the process of lubrication of the needle-wedge pair. The results of research can be used in the development of new models of knitting machines and the improvement of their existing designs.

Keywords: knitting mechanism, knitting machine, lubrication of friction pairs of the knitting mechanism, dynamic loads of the knitting mechanism, dynamics of the needle-wedge interaction, reduction of the dynamic loads of the needle-wedge pair.

Підвищення ефективності роботи в'язальних машин, як відомо [1-3], можливо досягти зниженням втрат на тертя робочих органів механізму в'язання (в основному пари тертя голка-клин). Тому задачею даних досліджень є аналіз впливу змащення [4], з метою зниження втрат тертя робочих органів в'язальної машини, на зношення робочих поверхонь клинів та на їх довговічність.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом досліджень обрано процес змащення пар тертя механізму в'язання в'язальних машин та аналіз його ефективності на підвищення довговічності роботи клинів. При вирішенні поставлених задач були використані сучасні методи теорії проектування машин легкої промисловості та теорій тертя і опору матеріалів.

Постановка завдання

Враховуючи актуальність питання підвищення ефективності роботи в'язальних машин шляхом підвищення довговічності роботи клинів механізму в'язання, стаття присвячена аналізу впливу змащення на зниження тертя робочих органів в'язальних машин з метою зниження зношення робочих поверхонь клинів та підвищення довговічності їх роботи..

Результати та їх обговорення

Використовуючи результати досліджень [3, 5], довговічність роботи клинів в'язальних машин може бути визначена із умови:

$$T = \frac{H_{max} r_{np}^{0,5\beta t}}{60\, n\, z\, K\, f^t q^{1+0,5\beta t}} = \frac{H_{max} r_{np}^{a}}{N\, K\, f^t q^b}, \qquad (1)$$

де T – термін служби клина в годинах (довговічність);

H_{max} – гранично допустиме зношення клина, що вимірюється по нормалі до його робочої поверхні;

r_{np} – приведений радіус кривизни пари п'ятка голки-клин (надалі голка-клин);

a – показник степені,

$$a = 0,5\beta t; \qquad (2)$$

β – коефіцієнт, що враховує характеристику поверхонь пари голка-клин,

$$\beta = \frac{1}{1+2\nu}; \tag{3}$$

ν – коефіцієнт кривої опорної поверхні клина;

t – показник степені кривої контактної утоми пари голка-клин;

N – число циклів навантаження пари тертя на протязі однієї години роботи,

$$N = 60nz = \frac{360Vz}{\pi d}; \tag{4}$$

n – частота обертання голкового циліндра машини (для круглов'язальної машини);

z – кількість голок в голковому циліндрі;

V – лінійна швидкість голкового циліндра;

d – діаметр голкового циліндра;

K – параметр, що характеризує властивості матеріалів пари тертя,

$$K = 2K_0\left(\frac{4\eta}{\pi}\right)^{0,5} \cdot 0{,}418^c E^{0,5c} \frac{c}{c+0,5};\ K_0 = C_1\left(\frac{1-\mu_1^2}{E}\right)^{c-t}\left(\frac{K_1}{C_2\sigma_0}\right)^t;\ \eta = \frac{1-\mu_1}{E_1} + \frac{1-\mu_2}{E_2} = \frac{2(1-\mu)}{E}; \tag{5}$$

μ_1, μ_2 – коефіцієнти Пуассона матеріалів голки та клина відповідно, $\mu_1 = \mu_2 = \mu$;

E_1, E_2 – модулі пружності матеріалів голки та клина відповідно;

E – приведений модуль пружності матеріалів голки та клина, $E = E_1 = E_2$;

c – показник ступені,

$$c = 1 + \beta t; \tag{6}$$

$$C_1 = \frac{1{,}2\nu^{0,5}}{K_2(1+\nu)}; \tag{7}$$

K_2 – коефіцієнт, що вибирається в залежності від параметра ν;

K_1 – коефіцієнт пропорційності між питомою силою тертя та напруженням в парі тертя;

$$C_2 = \left(\frac{b_1}{2}\right)^{\beta}\left(\frac{2{,}35}{K_2}\right)^{1-\beta}\left(\frac{r}{h_{max}}\right)^{0,5(1-\beta)}; \tag{8}$$

b_1 – коефіцієнт кривої опорної поверхні;

r – середній радіус вершин і виступів мікронерівностей поверхонь тертя, $r = \sqrt{R_1 R_2}$;

R_1, R_2 – радіуси кривизни мікронерівностей поверхонь тертя в поперечному та поздовжньому напрямках обробки поверхонь;

h_{max} – максимальна висота мікронерівностей поверхні клина;

σ_0 – межа міцності при однократному напруженні пари голка-клин;

f – коефіцієнт тертя пари голка-клин;

q – питомий нормальний тиск в зоні контакту голки з клином, $q = \frac{F_{max}}{l \sin\alpha}$;

F_{max} – максимальна сила удару голки об клин (горизонтальна складова);

l – ширина ділянки контакту голки з клином;

α – кут зустрічі голки з клином в момент удару;

b – показник ступені, $b = 1 + 0{,}5\beta t$.

Оскільки метою досліджень є аналіз впливу тертя пари голка-клин на довговічність клину, рівняння (1) перетворюємо в наступний, зручний для аналізу, вид:

$$T = \frac{A}{f^t F_{max}^b}, \tag{9}$$

де

$$A = \frac{H_{max} r_{np}^a (l\sin\alpha)^b}{NK}. \tag{10}$$

Проаналізуємо вплив тертя на довговічність, як приклад, кулірного клина круглов'язальної машини КО-2.

Враховуючи конструктивні особливості машини [6] та результати досліджень [2, 3, 5], в якості вихідних даних приймаємо: діаметр голкового циліндру машини $d = 450$ мм; лінійна швидкість голкового циліндра $V = 1{,}0$ м/с; кількість голок в циліндрі $z = 1224$; матеріал голки сталь У7А, твердість HRC 68…70; матеріал клина сталь ШХ 15, твердість HRC 62…65; ширина ділянки контакту голки з клином $l = 2{,}5 \cdot 10^{-3}$ м; кут зустрічі голки з клином в момент удару $\alpha = 56^0$; модулі пружності та коефіцієнти Пуассона матеріалів

голки і клина $E_1 = E_2 = E = 1{,}96 \cdot 10^{11}$ Н/м^2; $\mu_1 = \mu_2 = \mu = 0{,}29$; гранично допустиме зношення клина $H_{max} = 0{,}6 \cdot 10^{-3}$ м; коефіцієнти кривої опорної поверхні $\nu = 3$, $b_1 = 5$; радіуси кривизни мікронерівностей поверхонь тертя $R_1 = 16$ мкм, $R_2 = 11300$ мкм; максимальна висота мікронерівностей поверхні клина $h_{max} = 3{,}2$ мкм; межа міцності при однократному напруженні пари голка-клин $\sigma_0 = 7 \cdot 10^8$ Н/м^2; коефіцієнти $t = 3$, $K_1 = 2$, $K_2 = 0{,}69$.

Використовуючи вихідні дані та приведені вище залежності, знаходимо; $a = 0{,}2145$; $b = 1{,}2145$; $c = 1{,}429$; $\beta = 0{,}143$; $N = 3{,}117 \cdot 10^6$ цикл/год.; $\eta = 0{,}724 \cdot 10^{-11}$; $C_1 = 0{,}753$; $C_2 = 26{,}5$; $r = 425{,}2$ мкм; $K_0 = 595{,}4 \cdot 10^{-15}$; $K = 0{,}898 \cdot 10^{-10}$; $q = 4{,}395 \cdot 10^4$ Н/м; $q^b = 43{,}544 \cdot 10^4$; $r_{np}^a = 99{,}8 \cdot 10^5$; $A = 11781$.

Враховуючи вище приведене, рівняння (9) приймає вид:

$$T = \frac{11781}{F_{max}^{1{,}2145} f^3} \text{ год.} \tag{11}$$

Підставляючи в рівняння (11) величини коефіцієнта тертя пари голка-клин f та максимальної сили удару голки об клин F_{max}, що відповідає даному значенню f [3, 5], за допомогою розробленої програми знаходимо необхідну довговічність роботи кулірних клинів круглов'язальної машини КО-2 (результати представлені в табл. і на рис. 1 – крива 1).

Вплив тертя (змащення) на величину зношення клинів можна оцінити перетворюючи рівняння (1) в зручний для цього вид:

$$H = \frac{TNKf^t F_{max}^b}{r_{np}^a (l \sin\alpha)^b} = Bf^t F_{max}^b, \tag{12}$$

де

$$B = \frac{TNK}{r_{np}^a (l \sin\alpha)^b}. \tag{13}$$

Прийнявши $T = 10 \cdot 10^3$ год, одержуємо $B = 0{,}51 \cdot 10^{-3}$. Тоді рівняння (12) приймає вид:

$$H = 0{,}51 \cdot 10^{-3} F_{max}^{1{,}2145} f^3, \text{ м } = 510 F_{max}^{1{,}2145} f^3 \text{ мкм.} \tag{14}$$

Підставляючи в рівняння (14) F_{max} та f (табл.) за допомогою розробленої програми знаходимо необхідну величину зношення робочої поверхні кулірних клинів круглов'язальної машини КО-2 при $T = 10 \cdot 10^3$ год. Одержані результати представлені в табл. і на рис. 1 – крива 2.

Таблиця

Результати розрахунків впливу тертя (змащення) на довговічність кулірних клинів круглов'язальної машини КО-2 та на їх зношення (при $T = 10 \cdot 10^3$ год)

Коефіцієнт тертя пари голка-клин f	Кут тертя пари голка-клин ρ, град	Максимальна сила удару голки об клин F_{max}, Н	Довговічність роботи клина T, 10^3 год.	Величина зношення клина H, мкм при $T = 10 \cdot 10^3$ год.
0,0524	3,0	45,753	788,15	7,62
0,0611	3,5	47,055	480,48	12,50
0,0699	4,0	48,469	309,56	19,41
0,0787	4,5	50,013	208,79	28,77
0,0875	5,0	51,708	145,89	41,18
0,0963	5,5	53,581	104,81	57,32
0,1051	6,0	55,666	76,97	78,05
0,1139	6,5	58,008	57,52	104,45
0,1228	7,0	60,663	43,47	138,20
0,1316	7,5	63,711	33,28	180,53
0,1405	8,0	67,260	25,60	234,64
0,1494	8,5	71,464	19,78	303,67
0,1584	9,0	76,556	15,27	393,48
0,1673	9,5	82,901	11,76	510,68
0,1763	10,0	91,115	8,96	670,27
0,1853	10,5	102,346	6,70	896,25
0,1944	11,0	119,045	4,83	1243,39
0,2034	11,5	147,822	3,24	1852,55
0,2125	12,0	217,434	1,78	3375,44

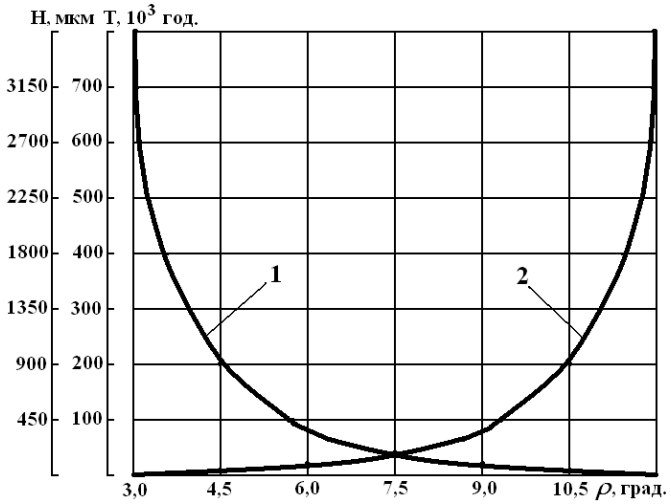


Рис. 1. Вплив тертя (змащення) на довговічність кулірних клинів круглов'язальної машини КО-2 (крива 1) та на зношення їх робочої поверхні при $T = 10 \cdot 10^3$ год (крива 2)

Висновки. Аналіз одержаних результатів показує що ефективність змащення (тертя) робочих органів суттєво впливає на зношення клинів в'язальних машин і, відповідно, на довговічність їх роботи.

Раціональним режимом роботи круглов'язальних машин типу КО є такий режим, коли коефіцієнт тертя пари голка-клин знаходиться в межах 0,08…0,1 (може бути досягнуто вибором відповідного виду мастила та режимів змащення механізму в'язання). При цьому довговічність кулірного клина коливається в межах від $208{,}79 \cdot 10^3$ до $76{,}97 \cdot 10^3$ год (від 16312 до 6013 днів при 2-змінній роботі машини).

При існуючому режимі роботи круглов'язальної машини КО-2, як показують дослідження [2], довговічність кулірних клинів не перевищує $9 \cdot 10^3$ год (703 днів).

Література

1. Хомяк О.Н., Повышение эффективности работы вязальных машин / Хомяк О.Н., Піпа Б.Ф. – М. : Легпромбытиздат, 1990. – 208 с.

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

3. Піпа Б.Ф. Динаміка механізмів в'язання круглов'язальних машин / Піпа Б.Ф. – К. : КНУТД, 2008. – 416 с.

4. Чабан В.В. Влияние смазки и металлоплакирующих нанотехнологий на повышение эффективности работы механизмов вязания вязальных машин / В.В. Чабан, Б.Ф. Пипа, А.К. Прокопенко. – К. : КНУТД, 2014. – 176 с.

5. Піпа Б.Ф. Удосконалення робочих органів механізмів в'язання круглов'язальних машин / Б.Ф. Піпа, С.А. Плешко. – К. : КНУТД, 2012. – 470 с.

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

References

1. Homjak O.N., Povyshenie jeffektivnosti raboty vjazal'nyh mashin / Homjak O.N., Pipa B.F. – M. : Legprombytizdat, 1990. – 208 s.

2. Pipa B.F. Dinamika kruglov'jazal'nih mashin / B.F. Pipa, O.M. Homjak, G.I. Pavlenko. – K. : KNUTD, 2005. – 294 s.

3. Pipa B.F. Dinamika mehanizmiv v'jazannja kruglov'jazal'nih mashin / Pipa B.F. – K. : KNUTD, 2008. – 416 s.

4. Chaban V.V. Vlijanie smazki i metalloplakirujushhih nanotehnologij na povyshenie jeffektivnosti raboty mehanizmov vjazanija vjazal'nyh mashin / V.V. Chaban, B.F. Pipa, A.K. Prokopenko. – K. : KNUTD, 2014. – 176 s.

5. Pipa B.F. Udoskonalennja robochih organiv mehanizmiv v'jazannja kruglov'jazal'nih mashin / B.F. Pipa, S.A. Pleshko. – K. : KNUTD, 2012. – 470 s.

6. Mashiny kruglovjazal'nye tipa KO-2. Tehnicheskoe opisanie i instrukcija po jekspluatacii. – Chernovcy, 1992. – 86 s.

Рецензія/Peer review : 17.10.2017 р. Надрукована/Printed :19.01.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Місяць В.П.

УДК 629.113

В.В. СЛАВІН
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

ВПЛИВ КАТАЛІТИЧНОГО НЕЙТРАЛІЗАТОРА НА ТОКСИЧНІСТЬ ДВИГУНА З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ

Екологічні показники бензинового двигуна залежать від складу паливоповітряної суміші. Визначено вплив трикомпонентного каталітичного нейтралізатора на токсичність двигуна з іскровим запалюванням при роботі з карбюраторною і електронною системою впорскування бензину. У роботі визначено вплив каталітичного нейтралізатора на екологічні показники двигуна з різними системами живлення в режимах навантаження, активного і примусового холостого ходу.

Ключові слова: відпрацьовані гази, бензиновий двигун, автомобіль, система впорскування, карбюратор, екологічні показники.

VIKTOR V. SLAVIN
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

THE INFLUENCE OF A CATALYTIC CONVERTER ON THE TOXICITY OF AN ENGINE WITH SPARK IGNITION

In the conditions of operation automobile continue to operate with spark motors, which are equipped with outdated petrol systems with an ecological level of Euro-0. Automobile of low ecological level with spark motors make up a considerable part in their class. Therefore, they are the main mobile sources of atmospheric air pollution in cities. An effective measure to improve the environmental performance of automobile is the use of exhaust gas emission reduction systems in the engine exhaust system. As such devices today are three-component catalytic exhaust gas neutralizers, which effectively neutralize pollutants with the injection system and feedback. The injection system with feedback allows us to improve the environmental performance of new automobile to the modern ecological level. Efficiency of use of catalytic converters on automobile in operation with obsolete mechanical systems of nutrition is investigated by experimental methods. In order to improve the environmental performance of automobile with run, it is proposed to install modern injection systems under operating conditions. By these substitutes and the use of catalytic converters, cars with mileage maintain a high ecological level. To study the effect of these changes, a series of load characteristics, high speed active and forced idling of the engine with different power systems were obtained. The peculiarity of using injection systems is the constant stoichiometric composition of the mixture during engine operation, increasing the efficiency of the exhaust gas neutralization system within 90%. The estimation of the efficiency of the catalytic converter with different power systems is determined by comparing the measured values of the pollutant before and after the neutralizer. Experiments have shown that small emissions of CO, CmHn, NOx are generated when the engine is running with a petrol injection system.

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

Постановка проблеми. Автомобільними шляхами України продовжують експлуатацію автомобілів із іскровими двигунами, які обладнані застарілими системами живлення (СЖ) бензином із низьким екологічним рівнем. Не дивлячись на те, що в Україні вже діють норми рівня Євро-5 автомобілі з екологічним рівнем Євро-0-1 складають більшість легкових автомобілів. Про це свідчать дані роботи [1], відповідно до яких:

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

Автомобілі рівня Євро-0 використовують застарілу механічну карбюраторну систему живлення бензином без використання засобів зниження токсичності відпрацьованих газів, тоді як інші представники, класу Євро-1, можуть бути, обладнані окислювальними нейтралізаторами відпрацьованих газів (ВГ) або «моно-інжекторами» (електронні системи центрального впорскування палива (TBI – Throttle Body Injection). Через низку факторів експлуатація автомобілів із ранніми системами живлення бензином буде продовжуватися, про що свідчить ріст внутрішніх продажів автомобілів з пробігом.

Підтримання Україною екологічним норм є результатом приєднання до «Угоди про прийняття єдиних технічних приписів для колісних транспортних засобів, предметів обладнання та частин, які можуть бути встановлені та/або використані на колісних транспортних засобах, і про умови взаємного визнання офіційних затверджень, виданих на основі цих приписів, укладеної у 1958 році, з поправками 1995 року та доданих до неї Правил Європейської економічної комісії ООН у порядку, визначеному центральним органом виконавчої влади у сфері транспорту, дорожнього господарства, туризму та інфраструктури» [2].

Визнання технічних приписів угоди як обов'язкових на території України запровадило крокове введення екологічних норм вищого рівня, що посприяло пошуку шляхів поліпшення показників роботи автомобілів в умовах експлуатації.

Аналіз останніх джерел. Поліпшення паливо-економічних та екологічних показників роботи автомобілів із ранніми системами живлення в умовах експлуатації виконані у роботі [3]. Використання системи впорскування в навантажувальних режимах посприяли зниженню концентрацій C_mH_n у відпрацьованих газах, а також значно збіднити паливоповітряну суміш (α зросло від 1,0 до 1,2). Таке

збіднення суміші призвело до зниження питомої витрати палива *ge* при використанні системи впорскування в середньому по навантажувальній характеристиці на 8,7 %.

У роботі [3] визначено, що заміна системи живлення двигуна екологічного рівня Євро-0 на електронну систему впорскування, посприяло покращенню паливної економічності, екологічних та енергетичних показників легкових автомобілів в умовах експлуатації. Проте така система не забезпечує зворотного зв'язку по складу відпрацьованих газів так як це є основною вимогою для забезпечення екологічних норм не нижче рівня Євро-2. Тому для підтримки сучасних екологічних норм необхідно використовувати системи впорскування із зворотнім зв'язком по λ-датчику, що забезпечує ефективну роботу пристроїв зниження токсичності відпрацьованих газів.

Виділення невирішених частин. Ефективним напрямком поліпшення екологічних показників автомобілів із двигунами низького екологічного рівня в умовах експлуатації є установка в системі випуску двигуна каталітичних нейтралізаторів відпрацьованих газів. Досвід з встановлення таких каталітичних нейтралізаторів відпрацьованих газів на автомобілі розпочатий в США з 1975 р., де був виданий нормативний акт, який забороняє експлуатацію автомобілів без каталітичних цих пристроїв [4]. Вони нейтралізують у відпрацьованих газах шкідливі речовини більш ніж на 90 %, що посприяло значному скороченню викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище. Наприклад, за період 1970-2004 рр. токсичність відпрацьованих газів американських автомобілів з бензиновими двигунами по монооксиду вуглецю CO зменшилася практично в 20 разів, по не згорівших вуглеводнях C_mH_n і оксидах азоту NO_x – більш ніж в 30 і 15 разів відповідно [4].

У Західній Європі до введення Євро-1 середній європейський автомобіль з чотирициліндровим двигуном потужністю 75 кВт (100 к.с.) при щоденному пробігу 100 км викидав в атмосферу за рік 300 кг (8,2 г/км) CO, 20 кг (0,548 г/км) C_mH_n і 40 кг (1,09 г/км) NO_x, тобто 360 кг шкідливих для людини і навколишнього середовища речовин. Норми Євро-1, які передбачають встановлення окислювальних нейтралізаторів, забезпечили зниження викидів по CO до 2,75 г/км, C_mH_n – до 0,3 г/км, NO_x – 0,62 г/км, що для середнього міського автомобіля з бензиновим двигуном складає відповідно – 0,996, 0,105 і 0,226 т в рік.

Посилення екологічних норм до автотранспорту, коли особливої уваги привернула проблема знешкодження більш токсичних оксидів азоту посприяли появі трикомпонентних каталітичних нейтралізаторів (ТКН). З 1993 р. їх масово розпочали встановлювати на всі європейські автомобілі з системою впорскування бензину, що забезпечило виконання норм рівня «Євро-2».

Якщо раніше у двокомпонентних (окислювальних) нейтралізаторах в якості каталізаторів використовували платину та паладій, які забезпечують окислення CO в CO_2, а C_mH_n у CO_2 і H_2O, то трикомпонентний каталітичний нейтралізатор містить родій, що забезпечує відновлення NO_x в молекулярний азот N_2. Ефективність роботи ТКН в межах 90-95 % досягається за умови підтримання стехіометричного складу суміші (α=1), що забезпечується системою впорскування бензину зі зворотнім зв'язком.

Мета і постановка задачі. Визначення впливу засобів зниження токсичності відпрацьованих газів на екологічні показники легкових автомобілів в умовах експлуатації.

Виклад основного матеріалу. У лабораторії «Випробування двигунів» Національного транспортного університету проводяться дослідження використання ТКН в автомобільних двигунах з іскровим запалюванням з різними системами живлення і визначення їх екологічних показників (рис. 1).

Згідно програми експериментальних досліджень отримано серію навантажувальних характеристик, швидкісних активного і примусового холостого ходу (ПХХ) двигуна з різними СЖ.

Рис. 1. Стендові випробування двигуна з іскровим запалюванням

Один з найбільш поширених режимів роботи автомобільних двигунів в умовах експлуатації, зокрема, в місті є режими активного холостого ходу (ХХ). Згідно з цим визначалися порівняльні характеристики двигуна з карбюраторною системою і системою впорскування в швидкісних режимах

активного ХХ (рис. 2 а).

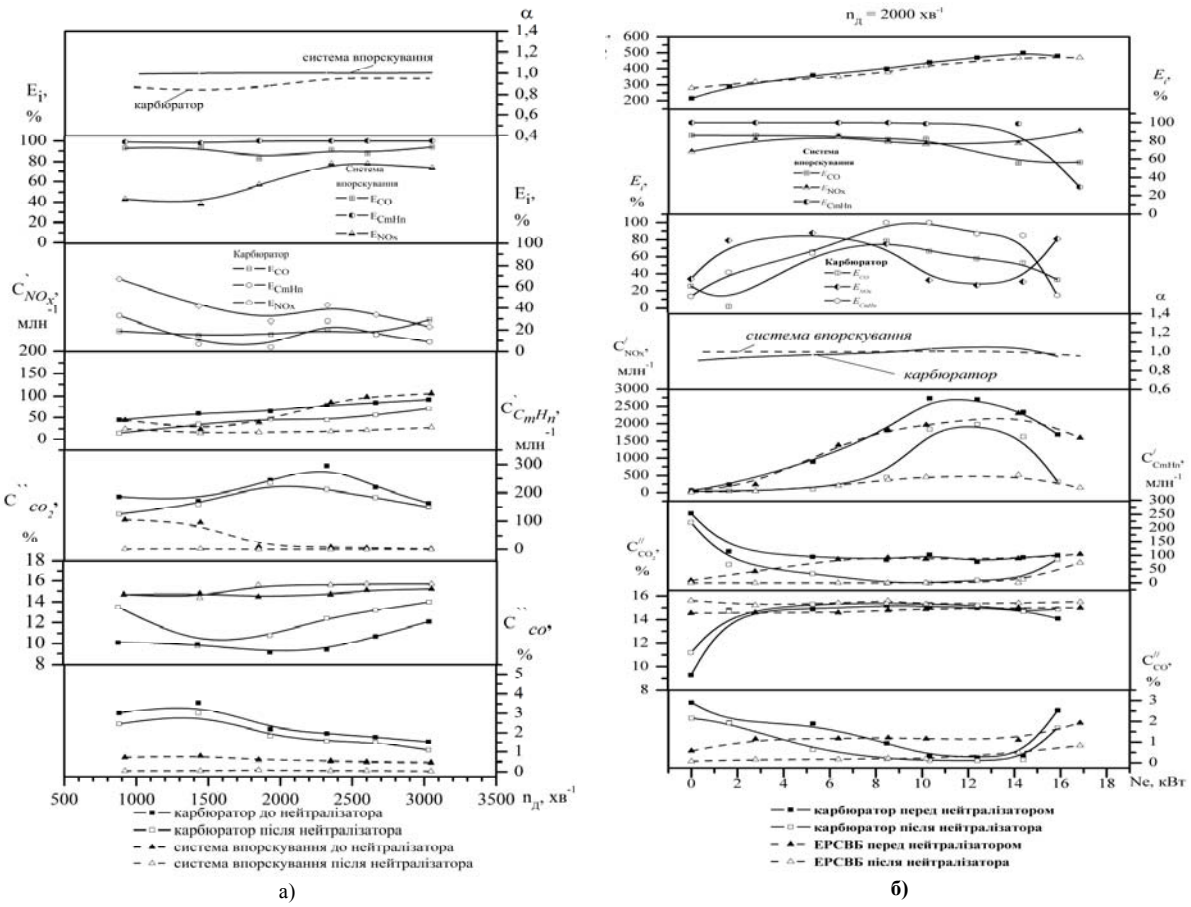


Рис. 2. Залежність екологічних показників двигуна 4Ч7,6/6,6 в режимах активного ХХ (а) та від навантаження (б) з різним типом СЖ

У режимі мінімальної частоти обертання двигуна паливоповітряна суміш (ППС) має збагачений склад (α=0,91). При збільшенні частоти обертання, коли спрацьовує перехідна та головна дозуюча системи, коефіцієнт надлишку повітря змінюється в межах α=0,83…0,95.

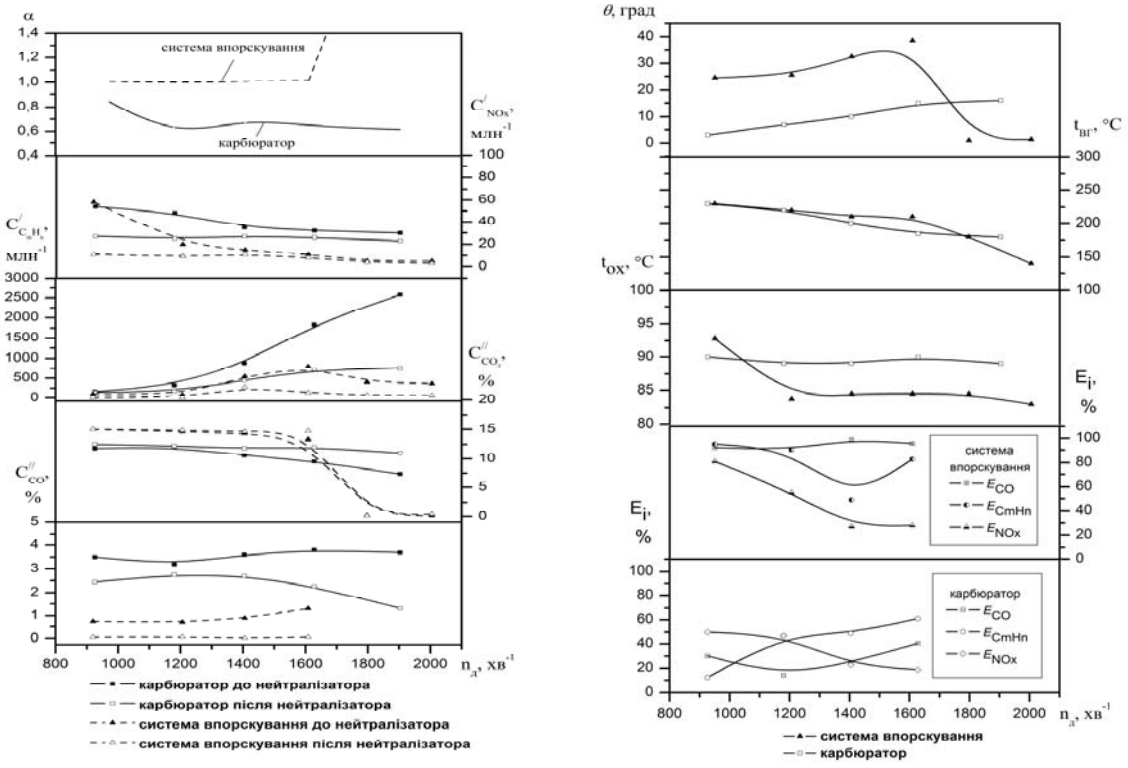
Робота двигуна з карбюраторною СЖ на збагаченій ППС характеризується підвищеними концентраціями CO, C_mH_n у ВГ при відборі проб до ТКН в порівнянні з цими показниками при застосуванні системи впорскування. Концентрації NO_x в режимах ХХ незначні і різниця для різних СЖ близька до точності заміру цієї речовини. У режимах ХХ визначено ефективність нейтралізації забруднюючих речовин (ЗР) ТКН за роботи двигуна з карбюраторною СЖ, і після заміни її системою впорскування бензину (рис. 2 а).

Як видно з рис. 2 а, система впорскування забезпечує ефективну нейтралізацію CO, C_mH_n у межах 88…100% в усьому швидкісному режимі. Ефективність нейтралізації NO_x при частотах обертання 2350…3050 хв$^{-1}$ знаходиться в межах 73…78%, і лише при низьких частотах ефективність нейтралізації NO_x знижується до 43,2 %, що пояснюється зниженням температури ВГ ($t_{вг}$), які надходять в ТКН. Для прикладу на рис. 2 б показана навантажувальна характеристика ($n_Д$ = 2000 хв$^{-1}$) двигуна 4Ч7,6/6,6 з різними СЖ. Як видно з рис. 2 б, в режимах малих навантажень і ХХ мають місце підвищені концентрації продуктів неповного згоряння (CO, C_mH_n) в порівнянні з системою впорскування. В діапазоні середніх навантажень і близьких до повного при карбюраторній СЖ концентрації NO_x також вищі, що пояснюється збідненням ППС. Температура ВГ ($t_{вг}$) вища в тих навантаженнях, де ППС більш бідна з тією чи іншою системою. В області найбільш ефективного згоряння (α = 1,03…1,05), де концентрації CO і C_mH_n мінімальні, концентрація NO_x найбільша, що пояснюється високими температурами процесу згоряння і достатньою кількістю кисню для протікання термічних реакцій утворення NO_x. У зоні збагачення суміші (α=0,95-0,94) концентрації NO_x трохи нижчі, хоча температура згоряння максимальна. Це є наслідком недостатньої кількості кисню. В режимах ХХ NO_x практично відсутні. Отже, різна зміна складу суміші з тією чи іншою системою відображатиметься на концентраціях і-ої ЗР на виході з ТКН. Як видно з рис. 2 б, в режимах ХХ ефективність нейтралізації CO і C_mH_n, знаходиться в межах 86…100 % для системи впорскування, а з карбюраторною СЖ 13…25% відповідно. В навантажувальних режимах до збагачення ППС, нейтралізація CO і C_mH_n при використанні системи впорскування становить 79…100%, з карбюраторною СЖ відповідно

45…78%.

При повному навантаженні відбувається збагачення ППС (α=0,95-0,94), нейтралізація ЗР для обох систем знижується. Ефективність нейтралізації NO_x в усьому діапазоні навантажувальної характеристики підвищується від 69% до 91% з системою впорскування, що пояснюється зростанням температури ВГ ($t_{вг}$). До того ж робота двигуна з карбюраторною СЖ забезпечує меншу ефективність нейтралізації NO_x (34…81%), що пояснюється відхиленням складу суміші від стехіометричного [5].

В режимі ПХХ тривалість експлуатації автомобілів складає 35%, крім того, двигун в режимі ПХХ не виконує транспортної роботи, споживаючи в середньому 9…12% палива Вплив типу СЖ на екологічні показники двигуна в режимі ПХХ показано на рис. 3 [6].



а) **б)**

Рис. 3. Характеристики ПХХ двигуна 4Ч7,6/6,6 з різним типом СЖ: екологічні показники

В режимі ПХХ, а саме в діапазоні частот обертання двигуна $n_д$ = 926...1600 хв$^{-1}$ з карбюратором із збагаченим складом суміші α=0,91…0,61, підвищуються концентрації продуктів неповного згоряння палива СО (в 3,8 рази) і C_mH_n (в 2,2 рази) перед ТКН в порівнянні з показниками системи впорскування. Концентрації NO_x в режимі ПХХ незначні і різниця для досліджуваних СЖ близька до точності заміру цієї речовини.

З характеристики ПХХ (рис. 3) видно, що використання системи впорскування підвищує ефективність роботи ТКН в цих режимах. В діапазоні навантажень $n_д$ = 926...1600 хв$^{-1}$ ефективність нейтралізації СО і C_mH_n з системою впорскування в середньому складає 94,2…80%, а з карбюраторною СЖ відповідно 28…42,3%.

Нейтралізація NO_x при уповільненні двигуна з системою впорскування підвищується в межах 27…81%, через зростання температури ВГ. При тих же умовах нейтралізація NO_x менша (19…50 %) за роботи двигуна з карбюраторною СЖ, що пояснюється значним збагаченням складу суміші.

Висновки. У результаті проведених досліджень визначено, що максимальна ефективність нейтралізатора, що визначається складом суміші, забезпечується системою впорскування бензину із зворотнім зв'язком. При цьому на карбюраторних двигунах трикомпонентний каталітичний нейтралізатор на відміну від окислювальних, забезпечує деяке зниження масових викидів NO_x. З навантажувальних характеристик ($n_д$=2000 хв$^{-1}$), швидкісних характеристик активного і ПХХ бензинового двигуна 4Ч7,6/6,6 з різними СЖ видно, що найменші викиди СО, CmHn, NOx утворюються при роботі двигуна з системою впорскування бензину.

Література

1. Редзюк А.М. Уведення екологічних норм Євро3-Євро6 в Україні, аналіз структури парку автомобілів за екологічними ознаками / А.М. Редзюк, В.С. Устименко, О.А. Клименко // Автошляховик

України. – 2011.– № 4. – С. 2–7.

2. Про внесення змін до Закону України «Про деякі питання ввезення на митну територію України та реєстрації транспортних засобів» щодо колісних транспортних засобів [Електронний ресурс] : закон України // Відомості Верховної Ради (ВВР). – 2013. – № 31. – ст. 360.

3. Гунько А. В. Поліпшення паливної економічності та екологічних показників в умовах експлуатації : дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.20 „Експлуатація та ремонт засобів транспорту" / А. В. Гунько. – К., 2006. – 185 с.

4. Адамович Б. А. Каталитические нейтрализаторы отработавших газов и экологическая безопасность АТС / Б. А. Адамович // Автомобильная промышленность. – 2005. – № 1. – С. 9–12.

5. Славін В. В. Дослідження показників бензинового двигуна з різними системами живлення в режимі примусового холостого ходу / В.В. Славін // Автошляховик України. – 2013. – № 2 (232). – С. 6–10.

6. Славін В. В. Вплив типу системи живлення на екологічні показники автомобіля в умовах експлуатації / В. В. Славін, І. В. Манько, А. В. Гунько // Вісник технічного університету «ХПІ» : збірник наукових праць. Серія: Автомобіле-та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2015. – № 9 (1118). – С. 69–76.

References

1. A.M. Redziuk, V.S. Ustymenko, O.A. Klymenko [ta in.]. Uvedennia ekolohichnykh norm Yevro-3–Yevro-6 v Ukraini, analiz struktury parku avtomobiliv za ekolohichnymy oznakamy, *Avtoshliakhovyk Ukrainy*, 2011, No. 4, pp. 2–7.

2. Zakon Ukrainy «Pro vnesennia zmin do Zakonu Ukrainy «Pro deiaki pytannia vvezennia na mytnu terytoriiu Ukrainy ta reiestratsii transportnykh zasobiv» shchodo kolisnykh transportnykh zasobiv» [Elektronnyi resurs] / Vidomosti Verkhovnoi Rady (VVR). – 2013. – No 31. – st. 360. (Zakon vid 06.07.2012 № 5177-VI) – Rezhym dostupu do st.: http://www. zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5177-17

3. Hunko A. V. Polipshennia palyvnoi ekonomichnosti ta ekolohichnykh pokaznykiv v umovakh ekspluatatsii: dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : spets. 05.22.20 „Ekspluatatsiia ta remont zasobiv transportu" / A. V. Hunko. – K., 2006. - 185 p.

4. Adamovych B. A. Katalytycheskye neitralyzatory otrabotavshykh hazov y ekolohycheskaia bezopasnost ATS / B. A. Adamovych / *Avtomobylnaia promyshlennost*. – 2005. – No 1. – pp. 9–12.

5. Slavin V. V. Doslidzhennia pokaznykiv benzynovoho dvyhuna z riznymy systemamy zhyvlennia v rezhymi prymusovoho kholostoho khodu / V.V. Slavin // *Avtoshliakhovyk Ukrainy*. – 2013. – No 2 (232), pp. 6 – 10.

6. Slavin V. V. Vplyv typu systemy zhyvlennia na ekolohichni pokaznyky avtomobilia v umovakh ekspluatatsii / V. V. Slavin, I. V. Manko, A. V. Hunko // Visnyk tekhnichnoho universytetu «KhPI». Zbirnyk naukovykh prats. Seriia: Avtomobile-ta traktorobuduvannia. –Kh.: NTU «KhPI». – 2015. – No 9 (1118). – pp. 69 – 76.

Рецензія/Peer review : 28.12.2017 р. Надрукована/Printed :03.02.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Шайко-Шайковський О.Г.

УДК 621.873.3

О.В. ДЗЕРЖИНСЬКА
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ КРОКУЮЧОГО КРАНУ З ҐРУНТОМ

В роботі розглянута методика силового розрахунку механізму переміщення крокуючих кранів. Представлена математична модель взаємодії крокуючого крану з ґрунтом під час крокування горизонтальною площадкою, а також під час крокування на підйом. В статті було виведено формули перерахунку для загального випадку, вважаючи, що крокуючий кран крокує по ухилу. Дана методика може використовуватись в ході проектування нових крокуючих машин.

Ключові слова: математична модель, крокуючий кран, механізм крокування, реакція ґрунту.

O.V. DZERZHINSKAYA
Donbas State Machine-Building Academy, Kramatorsk, Ukraine

MATHEMATICAL MODEL OF THE INTERACTION PROCESS CURRENT CRANE WITH GROUND

Walking cranes are used for construction work. Crawling walking equipment is indispensable for working on weak soils. Large supporting surfaces provide a small specific pressure, and the soil softening ensures uniform distribution of pressure under the support surface of the skis. However, the stepper motor has its disadvantages, such as low speed travel, a large mass of walking cranes, inadequate construction of resistance elements of the skier and stepping mechanism and others, led to the emergence of scientific research. However, despite a large number of studies, there are a number of unresolved issues that are of interest to engineering practice. One of such issues is the interaction of the supporting surface of the skis with the soil. The paper considers the method of force calculation of the mechanism of movement of stepping cocks. The mathematical model of the interaction of the stepping crane with the soil, when walking on a horizontal platform, as well as on stepping on the rise, is presented. In the article, the conversion formulas were derived for the general case, considering that the stepping crane is sloping. This technique can be used in the design of new walking machines. The purpose of this work is to construct a model of the process of interaction of the stepping crane with the soil. Insufficient study of the soil properties and the process of their destruction, and the complete lack of knowledge of the patterns of the process of forming and moving the prisms of drawing under the base of the stepping crane, does not allow to determine by calculation, for different conditions of the step, the value and the point of application of the reaction R. For the same reasons it is impossible by calculation to determine the horizontal force of the resistance of the movement of the stepping crane T. When deciding the question of an experimental study of the laws characterizing the process of stepping and its power side, one should also bear in mind the impossibility of a direct measurement of the quantities Δ, R and T. The only practically possible way of determining these quantities is to calculate their values N^G, N^B and α_{pl}, through the quantities, and, which it is possible to measure experimentally.

Key words: mathematical model, stepping crane, mechanism of stepping, reaction of soil.

Постановка проблеми. Крокуючі крани використовуються для будівельних робіт. Крокуюче ходове обладнання незамінне для роботи на слабких ґрунтах. Великі опорні поверхні забезпечують малий питомий тиск, а податливість ґрунтів забезпечує рівномірність розподілу тиску під опорною поверхнею лиж. Для вибору конструктивних параметрів механізму крокування , була розроблена математична модель процесу взаємодії крокуючого крану з ґрунтом.

Аналіз останніх досліджень. В теперішній час дослідження процесу взаємодії крокуючої машини з ґрунтом ведуть Є.С. Бріскін, В.В. Чернишов, А.В Малолетов [1, 2], однак для крокуючих кранів запропонована ними модель потребує доопрацювання. Вивченням питання впливу конструкції опорної поверхні лиж на процес зчеплення з ґрунтом займалися Н.З. Гармаш і Ю.І. Бережний [3], але їх роботи засновані на дослідження тільки однієї форми опорних елементів лиж крокуючого рушія, інші конструкції і конфігурація опорних елементів розглянуті не були. Однак, незважаючи на велику кількість досліджень, виникає ряд невирішених питань, вирішення яких має інтерес для інженерної практики. Одним з таких питань є взаємодія опорної поверхні лижі з ґрунтом.

Метою даної роботи є побудова моделі процесу взаємодії крокуючого крану з ґрунтом.

Виклад основного матеріалу. Прийнята в даний час методика силового розрахунку механізму пересування крокуючих кранів виходить з наступних основних умовних положень (рис. 1):

1. Кут підйому бази при крокуванні визначається тільки конструктивними параметрами машини і кутом повороту валу кривошипа механізму крокування.

2. Вертикальна реакція ґрунту на базу R вважається прикладеною безпосередньо на кромці бази (точка «2»).

3. Сила опору пересуванню крокуючого крана визначається за формулою $T = f_б \cdot R$.

4. Розрахунок ведеться з умови, що крокування можливе (відсутнє пробуксовування лиж), якщо

$$f_л N^B > f_б R ,$$

де N^B сила, чисельно рівна тиску лиж на ґрунт.

При такій розрахунковій схемі величини реакції N^B і R не залежать від властивостей ґрунту, оскільки однозначно визначаються постійними конструктивними параметрами машини.

При крокуванні по горизонтальному майданчику (β=0) з умови рівноваги сил (рис. 1) прикладених до крокуючого крану маємо:

$$\left.\begin{aligned}\sum \mathrm{M}_1 &= R(l_1+l_2)-Ql_1=0,\\ \sum Y &= N^B+R-Q=0,\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

$$R=\frac{l_1}{l_1+l_2}Q, \quad (2)$$

$$N^B=\frac{l_2}{l_1+l_2}Q, \quad (3)$$

де Q – вага крокуючого крану.

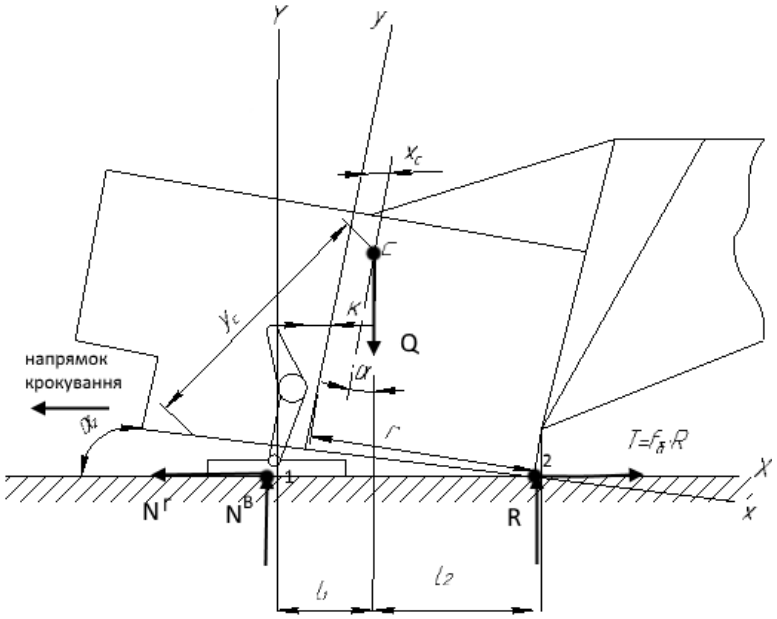


Рис. 1. Схема рівноваги сил крокуючого крану по горизонтальному майданчику (β=0)

Значення плечей l_1 і l_2 можна визначити з рис. 1, а таким чином

$$l_1=(k+x_c+y_c\tan\alpha)\cos\alpha,$$

$$l_2=(r-x_c-y_c\tan\alpha)\cos\alpha.$$

Так як значение кута α не перевищує $\sim 4^\circ$, можна прийняти $\cos\approx 1$, тоді:

$$l_1\approx k+x_c+y_c\sin\alpha, \quad (4)$$

$$l_2\approx r-x_c-y_c\sin\alpha, \quad (5)$$

де r – радіус опорної площини бази;

x_c-y_c – координати центру тяжіння крокуючого крану;

к- відстань від центру кульової опори лижі до осі крокуючого крану.

Підставимо значення l_1 і l_2 з (4) і (5) в (2) і (3), отримуємо

$$R=\frac{k+x_c+y_c\sin\alpha}{k+r}Q, \quad (6)$$

$$N^B=\frac{r-x_c-y_c\sin\alpha}{k+r}Q, \quad (7)$$

У формулах (6) і (7) параметри Q, x_c, y_c і r постійні для цієї конструкції крокуючого крану, а k і α визначаються кутом повороту валу кривошипа механізму крокування і розмірами чотирьохланника. Отже, значення реакцій R і N^B залежать тільки від кута повороту валу кривошипа. Спостереження і досвід, проте, показують, що така ідеалізація розрахункової схеми грубо спотворює дійсну картину, що характеризує процес крокування і розподіл сил. В процесі крокування відбувається (рис. 2) втискування кромки бази в ґрунт на деяку глибину $\delta_б$ з утворенням опорного майданчика α_1, і під базою на довжині α_2 утворюється призма волочіння ґрунту, зрізаного кромкою при переміщенні бази у напрямі кроку. Сили реакції ґрунту на базу розподіляються по усій поверхні контакту бази з ґрунтом. Рівнодійна цих розподілених сил R буде прикладена в точці " 2" на деякій відстані від кромки бази Δ, залежному від властивостей ґрунту, величини реакції R і кута нахилу бази до майданчика $\alpha_{пл}$.

Кут $\alpha_{пл}$ буде визначатися не тільки конструктивними розмірами крокуючого крана і кутом повороту валу кривошипа, а й величинами вдавлення в ґрунт кромки бази $\delta_б$ і лиж $\delta_л$.

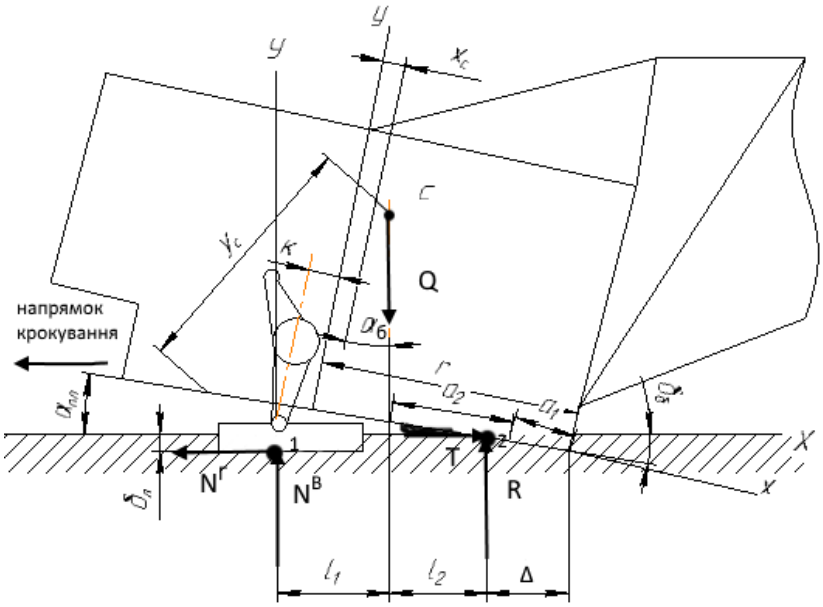


Рис. 2. Схема рівноваги сил крокуючого крану при втискуванні кромки бази в ґрунт на деяку глибину $\delta_в$

Таким чином. Якщо виходити з реальних умов крокування (рис. 2):

$$\sum M_1 = R(l_1+l_2) - Ql_1 = 0,$$

$$\sum Y = N^B + R - Q = 0,$$

Де

$$l_1 \approx k + x_c + y_c \sin\alpha_{пл}, \quad (8)$$

$$l_2 \approx r - x_c - y_c \sin\alpha_{пл}, \quad (9)$$

Тому

$$R = \frac{k + x_c + y_c \sin\alpha_{пл}}{k + r - \Delta} Q, \quad (10)$$

$$N^B = \frac{r - x_c - y_c \sin\alpha_{пл}}{k + r - \Delta} Q, \quad (11)$$

З формул (10) і (11) виходить, що величини реакцій R і N^B залежать від властивостей ґрунту, по якому пересуваються крокуючі крани, і при цьому, оскільки у будь-яких умовах значення $\Delta>0$, дійсний тиск на базу R буде завжди більше величини, визначуваною розрахунком за формулою (6), вертикальний тиск на лижі N^B – менше величини, визначуваною розрахунком за формулою (7).

Недостатня вивченість властивостей ґрунтів і процесу їх руйнування і повна не вивченість закономірностей процесу формування і переміщення призми волочіння під базою крокуючого крану не дозволяє розрахунковим шляхом визначити для різних умов крокування, величини і точку прикладення реакції R.

З тих же причин неможливо розрахунковим шляхом визначити горизонтальну силу опору пересування крокуючого крану T.

При вирішенні питання про експериментальне дослідження закономірностей, що характеризують процес крокування і його силову сторону, слід мати на увазі також неможливість здійснення безпосереднього виміру величин Δ, R і T. Єдиний практично можливий шлях визначення цих величин полягає в обчисленні їх значень через величини N^Γ, N^B і $\alpha_{пл}$, які представляється можливим виміряти експериментальним шляхом. Виведемо формули перерахунку для загального випадку, вважаючи, що крокуючий кран крокує по ухилу. При крокуванні на підйом (кут підйому майданчика β) з мал. 3 запишемо умови рівноваги:

$$\sum M_1 = -Q_N l_1 - Q_T\left[y_c + (l_1 + l_2)\sin\alpha_{пл}\right] + R(l_1 + l_2) = 0, \quad (12)$$

$$\sum Y = N^B + R - Q = 0, \quad (13)$$

$$\sum X = T + Q_T - N^\Gamma = 0, \quad (14)$$

де

$$Q_N = Q \cdot \cos\beta = Q,$$

$$Q_T = Q \cdot \sin\beta,$$

а значення l_1 і l_2 визначаються за формулами (8) и (9).

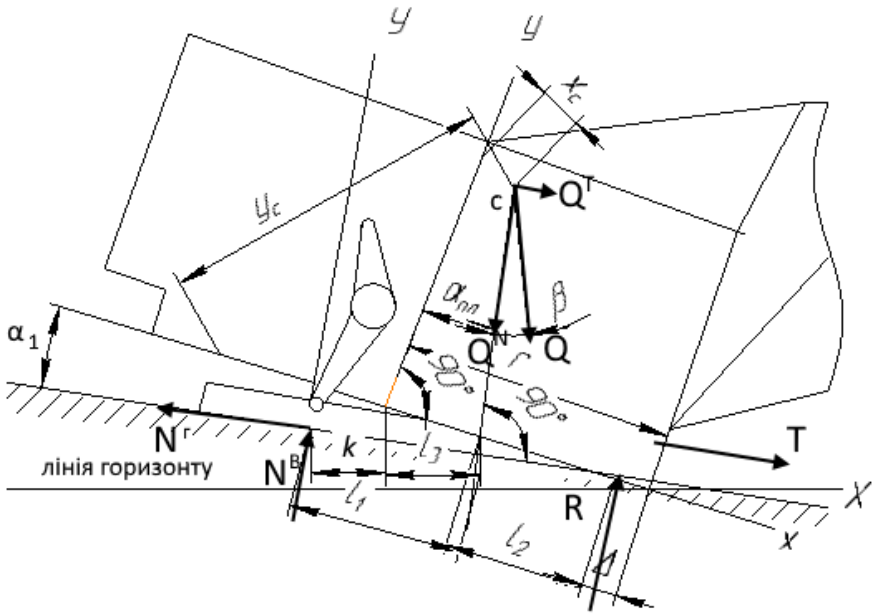


Рис. 3. Схема рівноваги сил крокуючого крану при крокуванні на підйом (кут підйому майданчика β)

З умов (13) і (14) знаходимо

$$R = Q - N^B, \tag{15}$$

$$T = N^\Gamma - Q\sin\beta, \tag{16}$$

а з рівняння (12)

$$R = Q\left(\frac{l_1 + y_c \sin\beta}{l_1 + l_2} + \sin\beta \cdot \sin\alpha_{пл}\right),$$

Чи приймаючи, що $\sin\beta \cdot \sin\alpha_{пл} \approx 0$,

$$R = Q\left(\frac{l_1 + y_c \sin\beta}{l_1 + l_2}\right).$$

Після підстановки в цей вираз значень l_1 і l_2 з формул (8) і (9) та значення R з (15) знаходимо:

$$\Delta = (k+2) - \frac{k + x_c + y_c(\sin\beta + \sin\alpha_{пл})}{1 - \dfrac{N^B}{Q}}. \tag{17}$$

Значення коефіцієнту опору руху бази визначиться по формулі:

$$f_б = \frac{T}{R} = \frac{N^\Gamma - Q\sin\beta}{Q - N^B}, \tag{18}$$

а коефіцієнт зчеплення лиж з ґрунтом:

$$f_л = \frac{N^\Gamma}{N^B}, \tag{19}$$

З формул (15), (16), (17), (18) і (19) видно, що приведені, що для випадку крокування на підйом, справедливі і при крокуванні вниз по ухилу, якщо значення кута β в цьому випадку вважати негативним.

Розглянемо метод експериментального виміру вертикальної N^B і горизонтальною N^Γ сил, що діють з боку ґрунту на лижі механізму крокування.

Вертикальна реакція ґрунту на лижі (рис. 4) є розподіленою силою, рівнодійна якій N^B у разі рівноваги лижі повинна проходити через центр кульової опори ноги механізму крокування (точка O_2).

Горизонтальна сила зчеплення лиж з ґрунтом є також розподіленою по усій опорній поверхні лиж силою. Рівнодійна сил зчеплення N^Γ лежить в площині контакту основи лиж з ґрунтом.

Перенесення цієї сили в центр кульової опори ноги називає появу додаткового моменту $m = -N^\Gamma \cdot c$, урівноважуваного за рахунок деякого перерозподілу вертикального тиску ґрунту на лижі: передній кінець лижі дещо розвантажується, а задній - навантажується. Таким чином сили N^B і N^Γ можна вважати прикладеними до кульової опори ноги механізму крокування. Направимо осі O_2XY, як

показано на рис. 4, і позначимо проекцію рівнодійної $\overline{N} = \overline{N^B} + \overline{N^\Gamma}$ на напрям подовжньої осі $O_1 O_2$ нижній частині ноги через N'', а на напрям, перпендикулярне $O_1 O_2$ через N'.

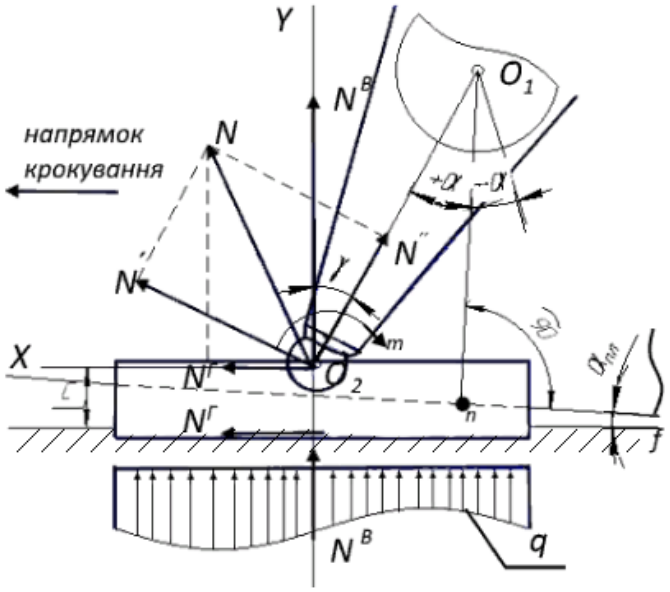


Рис. 4. Сили, що діють з боку ґрунту на лижі механізму крокування

Тоді

$$N^B = N'' \cos\gamma + N' \sin\gamma, \tag{20}$$

$$N^\Gamma = N' \cos\gamma - N'' \sin\gamma, \tag{21}$$

де γ – кут нахилу осі $O_1 O_2$ до осі $У$.

Кут γ визначається з виразу

$$\gamma = \varphi + \alpha_{пл}, \tag{22}$$

де φ – кут нахилу осі ноги $O_1 O_2$ до лінії $O_1 n$, перпендикулярної основі бази.

$\alpha_{пл}$ – кут нахилу основи бази до майданчика.

Значення кута φ для різних положень кута повороту кривошипа визначається графічною побудовою. Якщо кут φ вважати позитивним при відхиленні лінії ноги $O_1 O_2$ до лінії $O_1 n$ у бік крокування і негативним при відкладанні убік протилежному напряму крокування тоді формули (20) і (21) будуть справедливі для будь-якого положення механізму крокування.

Висновки

Представлена модель взаємодії крокуючого крану з ґрунтом, при крокуванні по горизонтальній площадці, а також при крокуванні на підйом. Запропонована методика силового розрахунку механізму переміщення крокуючих кранів, може використовуватися при проектуванні крокуючих кранів.

Література

1. Брискин Е.С. Проблемы разработки шагающих машин / Е.С. Брискин, В.Е. Павловский, В.А. Шурыгин, В.В. Чернышев, А.В Малолетов, В.А. Серов // Экстремальная робототехника : тр. конф., 25-26.09.2012 г. – Санкт-Петербург : Изд-во ЦНИИ РТК, 2012. – С. 43–50.

2. Брискин Е.С. Моделирование динамики смены стоп шагающих машин / Е.С. Брискин, В.В. Чернышев // Штучний інтелект. – 2009. – № 3. – С. 293–300.

3. Гармаш Н.З. Конструкция, основы теории и расчета шагающего ходового оборудования горнотранспортных машин / Н.З. Гармаш, Ю.И. Бережной. – М. : Недра,1971. – 144 с.

References

1. Briskin E.S. Problemy razrabotki shagayushchikh mashin / E.S. Briskin, V.E. Pavlovsky, V.A. Shurygin, V.V. Chernyshev, A.V. Maloletov, V.A. Serov // Ekstremalnaya robototekhnika tr. Conf., 25-26.09.2012: Publishing House CRI RTC- St. Petersburg, 2012. - P. 43-50.

2. Briskin E.S. Modelirovaniye dinamiki smeny stop shagayushchikh mashin / E.S. Briskin, V.V. Chernyshev // Shtuchniy intelekt, 2009. - No. 3. - p. 293-300.

3. Garmash N.Z. Konstruktsiya. osnovy teorii i rascheta shagayushchego khodovogo oborudovaniya gornotransportnykh mashin / N.Z. Garmash, Yu.I. Berezhnoy. - M.: Nedra, 1971. - 144 s.

Рецензія/Peer review : 19.12.2017 р. Надрукована/Printed :19.01.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кассов В.Д.

УДК 004.942; 536.2

Л.М. ШУМИЛЯК, В.В. ЖИХАРЕВИЧ, С.Е. ОСТАПОВ
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

КЛІТИННО-АВТОМАТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ДОМІШКИ ПІД ЧАС КРИСТАЛІЗАЦІЇ РОЗПЛАВУ

Дана стаття присвячена побудові клітинно-автоматної моделі процесу направленої кристалізації бінарних розчинів. Увага акцентується на процесах перерозподілу домішки і концентраційного переохолодження, які відбуваються при цьому. В опис включається відоме раніше уявлення про дію механізму концентраційного переохолодження розплаву. Наведено результати розрахунків розподілу концентрації домішки вздовж фрагмента зразка при кристалізації. На основі розрахованого розподілу домішки визначається залежність температури фазового переходу розплаву від величини концентрації домішки.

Ключові слова: фазовий перехід, клітинний автомат, теплопровідність.

L.M. SHUMYLYAK, V.V. ZHIKHAREVICH, S.E. OSTAPOV
Yurij Fedkovych ChernivtsiNational University

IMPURITY REDISTRIBUTION AT MELT CRYSTALLIZATION SIMULATION BY CELLULAR AUTOMATA

It is well known that many physical properties of crystalline materials obtained by the method of directed crystallization are determined by the distribution of impurity in the melt and its ability to accumulate in the form of separate grains, cells etc. This occurs due to concentrated overcooling and leads to deterioration of the mechanical, electrical and physical properties of the material. It is one of the reasons for their fragility. A series of experiments is needed to investigate the optimal conditions for the growth of semiconductor materials with required properties. The time required is not always available, and the labour and material resources cost is rather high. Therefore, in recent years great attention is paid to the development of the technology of process simulation. Cellular automata (CA) are the most effectively used to describe the behaviour of a system the collective behaviour of which is determined by the local behaviour of its constituent elements, when the system is highly heterogeneous, and averaging of variables throughout the system can hardly reflect its status adequately as a whole. Therefore, while modelling the melting process, accompanied by the first order phase transition, we chose the cellular automata technique. The work is devoted to the use of cellular automaton model for the study of some basic physical processes. On the example of modelling of heat transfer processes, the main approaches and the general methodology of the development of cellular automaton models are considered. It is shown that these models can become an alternative to the use of classical differential equations. It is proved that the model in the form of a system of cellular automata is a very convenient tool for studying nonlinear heat transfer problems and can describe a rather complicated system behaviour, despite the simplicity of its description. The description includes the previously known understanding of the action of the mechanism of the concentration of supercooled melt. The results of calculations of the distribution of impurity concentration along the sample fragment during crystallization are given. On the basis of the calculated distribution of the impurity, the dependence of the temperature of the phase transition of the melt on the concentration of the impurity is determined.

Keywords: phase transition, cellular automaton, thermal conductivity.

Вступ. Добре відомо, що багато фізичних властивостей кристалічних матеріалів, отриманих методом направленої кристалізації, визначаються розподілом домішки в розплаві і її можливістю накопичуватися у вигляді окремих зерен, комірок і т.п. Це обумовлюється виникненням концентраційного переохолодження і призводить до погіршення механічних, електрофізичних властивостей матеріалу і є однією з причин їх крихкості. Для дослідження оптимальних умов вирощування напівпровідникових матеріалів, які володіють потрібними властивостями, на виробництві необхідне проведення ряду експериментів. Витрати часу, а також трудових і матеріальних ресурсів не завжди є можливими. Тому останнім часом велика увага приділяється розвитку технології моделювання даного процесу.

Просторова сегрегація – процес складний для опису мовою математичних рівнянь. Сьогодні найбільш популярні і гнучкі – імітаційні або агентні моделі, де кожному агенту можна приписати свої правила поведінки. Одним з таких підходів моделювання є метод клітинних автоматів (КА). Він забезпечує не тільки опис фізичних властивостей матеріалу, але й може передбачати зміни на мікрорівні.

Найбільш ефективно КА використовуються при описі поведінки системи, де її колективна поведінка визначається локальною поведінкою складових її елементів, коли система стає сильно неоднорідною і усереднення змінних по всій системі не здатне адекватно відображати її стан в цілому. Тому для моделювання процесу плавлення, що супроводжується фазовим переходом першого роду, нами був обраний метод клітинних автоматів.

Клітинні автомати були винайдені фон Нейманом [1] тим самим він довів існування самовідтворюваної універсального комп'ютера.

Далі ця ідея набула популярності й багато дослідників працювали над її розвитком. Так у [2] було визначено кілька якісних класів поведінки клітинних автоматів на основі різних статистичних показників і описана організація клітинно-автоматного простору, досліджено, як клітинний автомат може змінюватись шляхом зміни записів в його правилах. Ці різкі зміни мають характер біфуркацій в гладкі динамічні системи, або фазових переходів в статистичної механіки. Класифікація клітинних автоматів є непростою справою. Вольфрамом розроблена класифікаційна схема, що складається з чотирьох якісних класів, на які всі клітинні автомати можуть бути розділені в залежності від типу їх еволюції – однородним фіксована точка (клас I), періодичні (клас II), хаотично (клас III), і комплекс (клас IV) [3]. Він широко аргументує, що досягнення в області клітинних автоматів не є ізольованими, але досить стійкі і мають велике значення для всіх галузей

науки. Такого роду визначення носять здебільшого якісний характер і їх можна по-різному інтерпретувати. В [2] перераховано шість класів поведінки, які уточнюють класи Вольфрам. Інші підходи до класифікації правил КА докладно описані в роботах Chatee і Manneville [4], Gutowitz [5], McIntosh [6].

У запропонованій нами роботі використовується метод неперервних клітинних автоматів. Як було показано раніше в [7], розрахувавши час однієї КА взаємодії, можна відобразити не тільки якісну, але і кількісну сторону модельованого процесу. Це дає можливість визначити характеристики процесу в конкретні моменти часу. Завдяки своїй простоті й універсальності даний метод є гідною альтернативою раніше відомим класичним методам вирішення задач теплопровідності, дифузії домішок, моделювання фазових переходів. У даній роботі представлено опис і результати застосування методу безперервних клітинних автоматів для моделювання процесу направленої кристалізації бінарних розчинів, з урахуванням сегрегації і залежності температури фазового переходу від складу матеріалу, що, за певних умов, може призводити до явища концентраційного переохолодження і, відповідно, до нерівномірної геометрії фронту кристалізації.

Постановка задачі. Як відомо, розчинність домішкових компонентів в рідкій фазі та рівноважній з нею твердій фазі основної речовини є різною. Це пов'язано із різними значеннями хімічних потенціалів домішок в твердій та рідкій фазах.

Відмінність між співвідношенням компонентів в рідкій та рівноважній з нею твердій фазі характеризується рівноважним коефіцієнтом розподілу [8]:

$$K_0 = C_S / C_L, \tag{1}$$

де C_S, C_L – концентрації домішки в твердій (*Solidus*) та рідкій (*Liquidus*) фазах відповідно.

Рівноважний коефіцієнт розподілу (іноді його називають коефіцієнтом сегрегації або коефіцієнтом ліквідації) визначається виглядом фазової діаграми відповідної системи. Якщо розглянути фрагмент діаграми стану двокомпонентної системи з повною взаємною розчинністю при малих концентраціях другого компоненту (рис. 1), то можна відмітити, що домішка (*B*), яка понижує температуру плавлення основної речовини (*A*), буде розчинятися в розплаві краще, ніж в твердій фазі, тобто $C_S < C_L$ і $K_0 < 1$. Фаза, яка кристалізується при цьому буде чистішою за розплав.

Якщо домішка підвищує температуру плавлення основної речовини, то вона розчиняється краще в твердій фазі, ніж в розплаві, тобто $C_S > C_L$ і $K_0 > 1$.

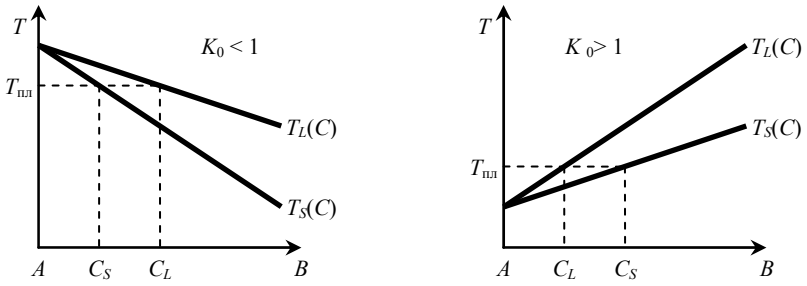


Рис. 1. Фрагменти діаграми стану «основна речовина (*A*) – домішка (*B*)» в області повної взаємної розчинності при малих концентраціях домішки: а) домішка понижує температуру плавлення; б) домішка підвищує температуру плавлення розчину

Коефіцієнт розподілу можна розрахувати за відношенням відрізків горизонтальних ліній від осі температури до їх перетину з лініями солідусу та ліквідусу. При малих концентраціях можна використовувати для опису стану системи закони ідеальних розчинів та вважати, що лінії солідусу та ліквідусу близькі до лінійних. Якщо кут між ними малий і концентрації C_S і C_L близькі, то $K_0 \approx 1$. Така ситуація спостерігається при значній схожості природи та характеру хімічних зв'язків основної речовини та домішки.

Слід відмітити, що рівноважний коефіцієнт розподілу – поняття термодинамічне та характеризує процес рівноважних фазових переходів, які передбачають переходи з рідкого стану у твердий та навпаки з безкінечно малою швидкістю або безкінечно малому об'ємі.

Оскільки на практиці має місце скінчена швидкість процесу фазового переходу, то вводять поняття ефективного коефіцієнта розподілу $K_{еф}$, який відрізняється від рівноважного. Різниця між ефективним та рівноважним коефіцієнтами розподілу виникає через те, що при скінченій швидкості кристалізації (стан системи нерівноважний) рухомий фронт відтісняє домішку (якщо $K_0 < 1$) швидше, ніж вона встигає дифундувати вглиб розплаву. Тому перед фронтом кристалізації виникає шар, збагачений домішкою, який називають дифузійним шаром. Цей шар характеризується певною товщиною δ. Підвищення концентрації домішки в розплаві на фронті кристалізації призводить до її зростання у твердій фазі. Але при цьому вважається, що на самій границі кристалізації відношення концентрації домішки у твердій фазі до концентрації у рідкій задовольняє співвідношенню (1). При $K_0 > 1$ ситуація аналогічна, але перед фронтом кристалізації виникає дифузійний шар, збіднений домішкою.

Зв'язок між ефективним та рівноважним коефіцієнтами розподілу визначається виразом, який

називають формулою Бартона-Прима-Сліхтера [9]:

$$K_{\text{еф}} = \frac{K_0}{K_0 + (1 - K_0)\exp\left(-\frac{V\delta}{D_L}\right)}, \quad (2)$$

де V – швидкість переміщення фронту кристалізації; D_L – коефіцієнт дифузії домішки в рідкій фазі; δ – товщина дифузійного шару. При цьому товщина дифузійного шару залежить як від швидкості переміщення фронту, так і від коефіцієнту дифузії домішки. Також може мати місце конвекційне або примусове перемішування розплаву, інтенсивність якого суттєво впливає на δ.

Опис клітинно-автоматної моделі. Суть моделювання процесів теплопровідності за допомогою клітинних автоматів полягає в наступному. Розіб'ємо зразок на сукупність однакових клітин, однаковим чином з'єднаних між собою. Всі клітини утворюють, так звану, решітку клітинного автомата. Решітки можуть бути різної розмірності (одно-, дво- або тривимірний масив) залежно від розмірності системи, що моделюється.

У випадках моделювання складних явищ, що супроводжуються фазовими переходами або іншими перетвореннями, вміст комірок клітинно-автоматного поля може являти собою окремий лінійний масив деяких характеристик.

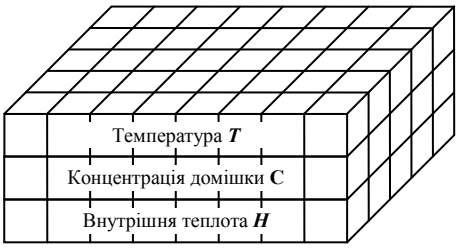


Рис. 2. Структура клітинно-автоматного поля для двомірної моделі

Опишемо структуру клітинно-автоматного поля для нашої моделі. Розмірність поля відповідає розмірності модельованої системи та містить три шари (рис. 2): 1) температура клітини ***T***; 2) концентрація домішки ***C***; 3) внутрішня теплота ***H***, яка враховується при моделюванні фазових переходів та визначає відношення концентрації домішки у рідкій та твердій фазах.

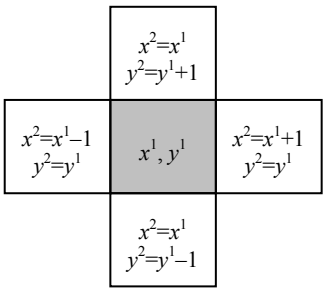


Рис. 3. Околиця Неймана та координати клітин для двомірної моделі

Процес моделювання являє собою ітераційний цикл клітинно-автоматних взаємодій. При цьому ми використовуємо асинхронну схему взаємодій клітинних автоматів. Дана схема передбачає циклічне виконання трьох типових кроків:

1. На клітинно-автоматному полі випадковим чином вибирається деяка клітина i = 1 з цілочисельними координатами x^1 , y^1. При цьому всі клітини є рівноімовірними щодо їх вибору.

2. Випадковим рівноімовірним чином вибирається деяка сусідня клітка i = 2 з цілочисельними координатами x^2 , y^2. В якості схеми сусідства в нашому випадку прийнята околиця Неймана, тобто у клітини є тільки чотири сусіда (рис. 3).

3. Відбувається клітинно-автоматна взаємодія між двома клітинами.

Вміст комірок поля може набувати дійсних неперервних значень.

Суть клітинно-автоматних взаємодій полягає у модифікації неперервних значень відповідних шарів клітин згідно наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} T^i{}' = T^i + (T_{\text{сер}} - T^i)A_{\text{сер}} / M_{\max}; \\ C^i{}' = C^i + (C_{\text{сер}} - C^i)D_{\text{сер}} / M_{\max}; \\ \text{якщо } (T^i{}' > T^i_{\text{пл}}) \text{ тт } (H^i < H_{\text{пл}}) \text{ т то : } \{H^i{}' = H^i + \Delta H^i; \quad T^i{}' = T^i_{\text{пл}};\} \\ \text{якщо } (H^i{}' > H_{\text{пл}}) \qquad \text{т то : } \{T^i{}' = T^i_{\text{пл}} + (H^i{}' - H_{\text{пл}})/q^i_L; \quad H^i{}' = H_{\text{пл}};\} \\ \text{якщо } (T^i{}' < T^i_{\text{пл}}) \text{ тт } (H^i > 0) \quad \text{т : } \{H^i{}' = H^i + \Delta H^i; \quad T^i{}' = T^i_{\text{пл}};\} \\ \text{якщо } (H^i{}' < 0) \qquad \text{т : } \{T^i{}' = T^i_{\text{пл}} + H^i{}'/q^i_S; \quad H^i{}' = 0;\} \end{cases} \quad (3)$$

$$T_{\text{сер}} = \frac{w^1T^1 + w^2T^2}{w^1 + w^2}; \; w^i = \rho^i_L q^i_L \frac{H^i}{H_{\text{пл}}} + \rho^i_S q^i_S \left(1 - \frac{H^i}{H_{\text{пл}}}\right); \; C_{\text{сер}} = C_L \frac{H^i}{H_{\text{пл}}} + C_S \left(1 - \frac{H^i}{H_{\text{пл}}}\right); \; C_L = \frac{C}{\Omega_L + K_0\Omega_S};$$

$$C_S = K_0 C_L; \qquad \Omega_L = \frac{H^1 + H^2}{H_{\text{пл}}}; \qquad \Omega_S = 2 - \Omega_L; \; C = C^1 + C^2; \qquad A_{\text{сер}} = \frac{A^1 + A^2}{2};$$

$$A^i = \frac{\eta^i_L}{\rho^i_L q^i_L}\frac{H^i}{H_{\text{пл}}} + \frac{\eta^i_S}{\rho^i_S q^i_S}\left(1 - \frac{H^i}{H_{\text{пл}}}\right); \qquad D_{\text{сер}} = \frac{D^1 + D^2}{2}; \quad D^i = D^i_L \frac{H^i}{H_{\text{пл}}} + D^i_S \left(1 - \frac{H^i}{H_{\text{пл}}}\right); \quad q^i_{\text{сер}} = \frac{q^i_L + q^i_S}{2}$$

$$T^i_{\text{пл}} = T_L(C^i)\frac{H^i}{H_{\text{пл}}} + T_S(C^i)\left(1 - \frac{H^i}{H_{\text{пл}}}\right); \qquad T_S(C) = T_{\text{пл}}(0) + tg(\alpha)C;$$

$$T_L(C) = T_{\text{пл}}(0) + tg(\alpha)CK_0;$$

$$\Delta H^i = H_{\text{пл}} \frac{\Delta T^i}{\Delta T^i_{\text{пл}}}; \qquad \Delta T^i = T^i - T^i_{\text{пл}};\ \Delta T^i_{\text{пл}} = \frac{H_{\text{пл}}}{q^i_{\text{сер}}} + T_L\left(C^i\right) - T_S\left(C^i\right);.$$

Тут i = 1, 2 – значення індексу, що відповідає вибраній та сусідній клітині відповідно; штрихом відмічені значення у наступний момент часу. T – температура, A – коефіцієнт температуропровідності, η – коефіцієнт теплопровідності, q – питома теплоємність, ρ – питома густина, C – концентрація домішки, D – коефіцієнт дифузії домішки. При цьому нижніми індексами S та L позначено відповідні параметри для твердої та рідкої фаз. Також: $H_{\text{пл}}$ – прихована теплота плавлення, $T_{\text{пл}}(0)$ – температура плавлення при нульовій концентрації домішки, K_0 – рівноважний коефіцієнт сегрегації домішки, $tg(\alpha)$ – тангенс кута нахилу концентраційної залежності температури плавлення (крива *Solidus*).

Граничні умови обираються наступні: з однієї сторона йде нагрівання, з другої – охолодження, зверху и знизу зразок термоізольований.

Система ітераційних рівнянь (3) отримана шляхом декомпозиції великої досліджуваної системи на маленькі частинки (співрозмірні з клітинними автоматами) та припущенні, що при взаємодії сусідніх частинок відбувається процес урівноваження температури та домішкової підсистеми. Таким чином, в результаті масових взаємодій маленьких частинок, вся система прямує до стану рівноваги.

Зокрема, перший вираз системи (3) по суті є клітинно-автоматною апроксимацією рівняння теплопровідності, другий – дифузії домішки. Проілюструємо описаний процес клітинно-автоматного моделювання теплопереносу на прикладі елементарного одномірного клітинно-автоматного поля, яке складається із шести клітин (рис. 1). Нехай параметри матеріалу є стаціонарними та однаковими у всіх точках поля, а початкова умова – ступінчастий розподіл температури, що зображується у вигляді стовпчиків відповідної висоти. Рисунок 1.а ілюструє приклад послідовності асинхронних клітинно-автоматних взаємодій у випадку адіабатичних граничних умов. Така взаємодія з часом призведе до вирівнювання температури в системі (рис. 1б).

У випадку ізотермічних граничних умов стаціонарний температурний розподіл буде мати вигляд лінійної залежності температури від координати, як показано на рис. 1.в. При цьому прийнято, що температура крайньої лівої точки зразка підтримується рівною деякому мінімальному, а крайня права – деякому максимальному значенню температури системи.

Якщо параметри матеріалу неоднакові у всіх точках поля (наприклад, має місце нерівномірний розподіл коефіцієнту теплопровідності), то підчас однієї клітинно-автоматної взаємодії швидкість урівноваження температури двох сусідніх клітин тим менший, чим менше середнє значення коефіцієнту теплопровідності.

Моделювання фазових переходів у системі (3) відбувається, виходячи із закону збереження енергії. Наприклад, при спробі нагріти частинку системи, що перебуває у твердій фазі, вище температури плавлення T_{m}, відбувається перетворення «надлишкової» теплової енергії у внутрішню енергію плавлення. І лише при досягненні рівня внутрішньої енергії H значення прихованої теплоти плавлення H_{m} можливе подальше підвищення температури частинки, оскільки вона вже перебуває у рідкій фазі. Зворотній процес має місце у випадку кристалізації.

Температура плавлення залежить як від складу речовини, так і від співвідношення внутрішньої теплоти до прихованої теплоти плавлення, та визначається фазовою діаграмою (рис. 1). Останні дві строчки системи (3) якраз і є лінійною апроксимацією фрагменту фазової діаграми.

Основна ідея при моделюванні явища сегрегації, в нашому випадку, полягає у прив'язці концентрації домішок твердої та рідкої фазах до відповідного відношення внутрішньої теплоти та прихованої теплоти плавлення.

Як було показано у роботах [10, 11] модельний час однієї клітинно-автоматної взаємодії залежить від розмірності поля та максимального коефіцієнта температуропровідності. Але в нашому випадку додається ще механізм дифузії домішки, тому у виразах для визначення часу однієї взаємодії слід обирати деякий параметр $M_{\max}$:

$$M_{\max} = \begin{cases} A_{\max}, \text{ якщо } A_{\max} > D_{\max} \\ D_{\max}, \text{ якщо } D_{\max} > A_{\max} \end{cases}, \tag{4}$$

який також входить у систему рівнянь (3).

Цілком очевидно, що для забезпечення адекватності процесу моделювання розмірність клітинно-автоматного поля повинна бути якомога більшою. З іншого боку, це неминуче призведе до занадто довгого процесу моделювання. Тут за аналогією з різними численними схемами рішення виникає проблема пошуку компромісу між точністю рішення і часом, необхідним для його отримання. Як було показано в роботі [10], модельний час одного клітинно-автоматного взаємодії залежить від розмірності поля.

Для одномірної моделі, поле якої має N_x клітин, час взаємодії дорівнює:

$$t_{1KA} = \frac{d_x^2}{a_{\max}} \frac{1}{2N_x^3}. \tag{5}$$

Для двомірної моделі із розмірністю $N_x \times N_y$ час взаємодії дорівнює:

$$t_{1KA} = \frac{d_x^2}{a_{\max}} \frac{1}{4N_x^3 N_y} = \frac{d_y^2}{a_{\max}} \frac{1}{4N_y^3 N_x}. \quad (6)$$

Для тримірної моделі із розмірністю $N_x \times N_y \times N_z$ час взаємодії дорівнює:

$$t_{1KA} = \frac{d_x^2}{a_{\max}} \frac{1}{6N_x^3 N_y N_z} = \frac{d_y^2}{a_{\max}} \frac{1}{6N_y^3 N_x N_z} = \frac{d_z^2}{a_{\max}} \frac{1}{6N_z^3 N_y N_x}, \quad (7)$$

де d_x, d_y та d_z — розміри зразка уздовж координати x, y і z відповідно.

Таким чином, чим більше розмірність КА поля, тим більшу кількість клітинно автоматних взаємодій слід провести протягом деякого модельного проміжку часу. Але з іншого боку, як було показано в роботі [12], збільшується також і точність розрахунків.

Результати розрахунків та їх аналіз. ***Моделювання перерозподілу концентрації домішки.*** Врахувавши домішкову підсистему (3) отримуємо можливість для моделювання явища сегрегації. Для підтвердження адекватності запропонованої моделі було проведено ряд обчислювальних експериментів, окремий приклад яких представлено на рис. 4. Наведені результати розрахунків розподілу відносної концентрації домішки здовж фрагменту зразка в процесі кристалізації цілком узгоджуються із експериментальними даними.

Рівняння, що описує розподіл домішки при направленій кристалізації має вигляд [8]:

$$\frac{dx}{L} = \frac{dC_L}{C_S - C_0} \quad (8)$$

Із першого графіка розподілу відносної концентрації домішки (рис.4) видно, що при дуже малій швидкості росту, розрахований за формулами (3) розподіл практично співпадає із аналітичним розв'язком рівняння (8):

$$C_S = KC_0\left(1 - \frac{x}{L}\right)^{k-1}, \quad (9)$$

де K – коефіцієнт сегрегації домішки, C_0 – початкова концентрація домішки, L – довжина зразка.

При збільшенні швидкості росту (нижній графік рис. 4) спостерігається відхилення від залежності (9). Таке відхилення можна пояснити, якщо розглядати ефективний коефіцієнт розподілу, а не рівноважний. Аналізуючи вираз (2), який зв'язує ефективний та рівноважний коефіцієнти розподілу, можна зробити висновок, що товщина дифузійного шару δ є непостійною та коливається в межах 1 мм. Це цілком узгоджується з відповідним значенням для домішок з коефіцієнтом дифузії в рідкій фазі $D_L = 10^{-8}$ м^2/с [9].

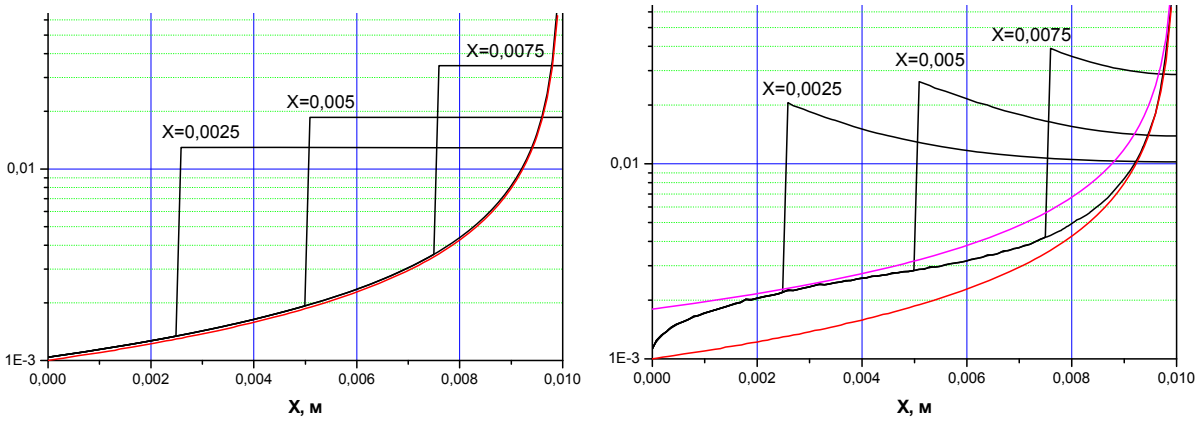


Рис. 4. Розподіл відносної концентрації домішки здовж фрагменту зразка в процесі кристалізації (показано проміжні результати руху фронту кристалізації у трьох точках). Червона крива – рівноважна кристалізація в умовах безмежно малої швидкості росту. Для верхнього рисунку швидкість росту V = 0,1 мм/год, для нижнього – V = 30 мм/год. Коефіцієнт дифузії домішки в рідкій фазі $D_L = 10^{-8}$ м^2/с. Коефіцієнт сегрегації K_0 = 0,1. Рожева крива – рівноважна кристалізація з коефіцієнтом сегрегації K_0 = 0,18

Моделювання явища концентраційного переохолодження. Адекватність клітинно-автоматної моделі (3) було перевірено також на моделюванні явища концентраційного переохолодження при вирощуванні легованих кристалів. Наведемо коротку характеристику цього явища.

У відповідності з фазовою діаграмою (рис. 1) кожна точка розплаву буде мати свою відповідну температуру ліквідусу. Нехай $K_0 < 1$, тоді вміст домішки у розплаві, прилягаючому до границі розділу підвищується, а рівноважна температура ліквідусу в цій області повинна знижуватися.

В розплаві існує температурний градієнт, створений для того, щоб забезпечити процес росту кристалу. Якщо при цьому температура розплаву на деякій відстані від поверхні розділу буде нижче температури ліквідусу, то розплав виявиться переохолодженим. Переохолодження буде мати місце не дивлячись на те, що температура розплаву вища, ніж температура поверхні розділу фаз.

При цьому створюється ситуація, коли розплав нагрітий сильніше кристалу, і тим не менш є

переохолодженим. Кристал може тепер виконувати роль зародку, який викличе самовільну кристалізацію переохолодженого розплаву, прагнучи усунути переохолодження. Також існує імовірність появи зародку кристалізації вглибині розплаву неподалік границі розділу фаз. Чим більший ступінь переохолодження, тим більша імовірність появи такого зародку.

На існування такого переохолодження вперше звернули увагу Руттер та Чалмерс у 1953 р. [13]. Вони назвали це переохолодження «концентраційним», підкресливши цим, що воно виникає в результаті зміни концентрації домішки в розплаві.

При кристалізації розплаву, який не містить домішок, або розплаву з домішками при інтенсивному перемішуванні, має місце лише теплове переохолодження. Концентраційне переохолодження відбувається при недостатньому перемішуванні, коли пограничний шар розплаву збагачений (або збіднений при $K_0 > 1$) домішками. Концентраційне переохолодження призводить до утворення комірчастої структури, яка порушує однорідність монокристалу, і тому є небажаною.

Кількісний опис направленої кристалізації бінарного розплаву з використанням досить простої моделі [14] призводить до важливого для практики вирощування кристалів з розплаву результату – критерію концентраційного переохолодження. Суть цього критерію можна виразити через критичну швидкість кристалізації [11]:

$$V_{\text{крит}} = \frac{GD_L}{(K_0 - 1)tg(\alpha)C_0}, \tag{10}$$

де G – температурний градієнт на фронті кристалізації, направлений в бік розплаву; C_0 – початкова відносна концентрація домішки.

Небажаного переохолодження розплаву, яким є концентраційне переохолодження, можна уникнути, якщо не перевищувати деякої межі швидкості кристалізації ($V_{\text{крит}}$). Підняти цю межу можна, або підвищуючи градієнт температури на міжфазній границі (G), або понижуючи вміст домішки в початковому матеріалі для вирощування (C_0). Керуючись цим правилом можна уникнути комірчастого росту кристалів.

На рис. 5 зображено результати розрахунків відносної концентрації домішки (верхній графік) та розподілу температури (нижній графік) здовж деякого зразка.

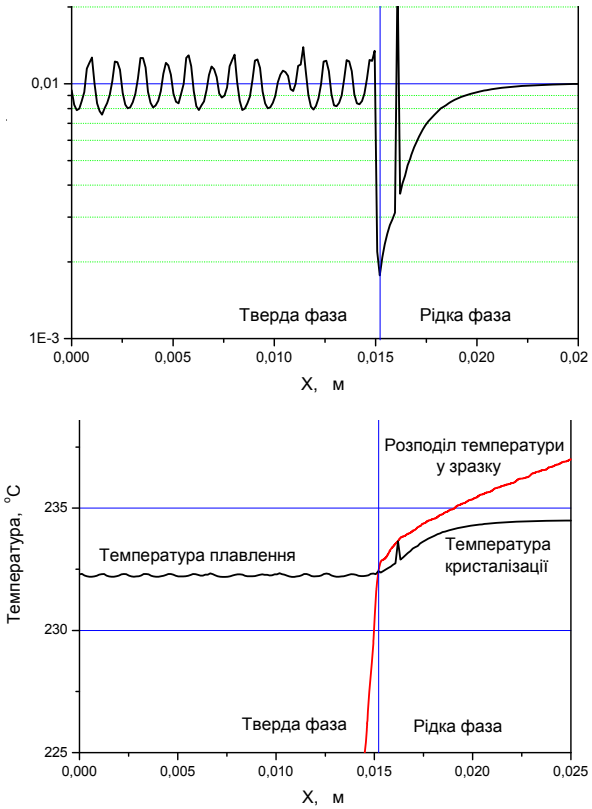


Рис. 5. Розподіли відносної концентрації домішки (верхній графік) та температури у зразку, а також температури плавлення і кристалізації (нижній графік). Основні параметри процесу: G = 2 °C/см; $D_L = 10^{-7}$ м^2/с; $V_{\text{крит}}$ = 30 мм/год; V = 100 мм/год

З рисунку видно, що перевищення швидкості росту деякого критичного значення призводить до нестабільної поведінки фронту кристалізації, а отже й до нерівномірного розподілу домішки в твердій фазі.

В якості термодинамічних параметрів матеріалу було обрано параметри системи олово-сурма (Sn-Sb) [12], де олово – основний матеріал, а сурма – домішка з відносною концентрацією C_0 = 0,01, тобто 1%. Основні теплові параметри для твердої та рідкої фаз олова такі [12]: коефіцієнт теплопровідності η_S = 65,8

Вт/м°С; η_L = 30,5 Вт/м°С; питома теплоємність q_S = 226 Дж/кг°С; q_L = 268 Дж/кг°С; питома густина ρ_S = 7300 кг/м^3; ρ_L = 6980 кг/м^3; прихована теплота плавлення $H_{пл}$ = 60,7 кДж/кг; температура плавлення при нульовій концентрації домішки $T_{пл}(0)$ = 232 °С; рівноважний коефіцієнт сегрегації домішки (Sb) K_0 = 10, тангенс кута нахилу концентраційної залежності температури плавлення (крива *Solidus*) $tg(\alpha)$ = 25.

Моделювання росту зерен при рівномірному охолодженні розплаву. Досить актуальною задачею є моделювання рівномірного твердіння розплавів у малих об'ємах з метою дослідження динаміки утворення зародків та росту зерен [1, 2]. При цьому процесами теплопровідності зазвичай нехтують, оскільки розглядаються порівняно малі ($\approx$1 мм) фрагменти зразків. Натомість досить суттєвим є врахування поверхневої енергії, кристалографічної орієнтації та інших дрібнозернистих факторів.

Для апробації моделі, запропонованій у даній роботі, оберемо ізотропний з точки зору швидкостей росту матеріал, а також доповнимо систему (3) виразами, що дозволять врахувати «конденсацію» флуктуацій внутрішньої енергії навколо зародків зерен кристалів:

$$\begin{cases} H^{i\,\prime} = H^{i} + Z\Delta H^{i} D_{\text{av}} / M_{\max}; \\ H^{(3-i)\,\prime} = H^{(3-i)} - Z\Delta H^{i} D_{\text{av}} / M_{\max}; \end{cases} \qquad (11)$$

де $Z = sign(1 - K_0) \cdot sign(C^i - C^{(3-i)})$, i = 1, 2 – індекси вибраної та сусідньої клітини відповідно.

Вирази (11) забезпечують направлений дрейф флуктуацій внутрішньої енергії ΔH, що мають місце в процесі кристалізації розплаву, у напрямку градієнту концентрації домішки. При $K_0 > 1$ дрейф відбувається у напрямку зменшення концентрації, а при $K_0 < 1$ у напрямку збільшення. Інтенсивність направленого переміщення пропорційна коефіцієнту дифузії домішки у рідкій фазі.

Довільний утворюваний зародок створює навколо себе деякий градієнт концентрації домішки. Під впливом взаємодій, що описуються виразами (11), до зародку спрямовано дрейфують флуктуації внутрішньої енергії. Таким чином відбувається утворення твердої фази в процесі кристалізації із рівномірним розподілом температури у вигляді зерен, що розростаються.

Цілком очевидно, що на густину розподілу та характерні розміри зерен впливають коефіцієнт дифузії домішок та швидкість охолодження розплаву. При однаковому значенні коефіцієнту дифузії чим швидше охолоджується розплав, тим менша середня довжина дрейфу флуктуацій внутрішньої енергії, а отже менші середні розміри зерен та більша їх густина розподілу. Цей факт підтверджується експериментальними даними [1].

На рисунках 6 – 8 наведено результати обчислювальних експериментів щодо кристалізації розплаву для трьох різних швидкостей охолодження: 0.1 K/c; 1 K/c та 10 K/c відповідно. Чітко видно зменшення розмірів зерен та збільшення їх густини зі збільшенням швидкості охолодження.

Параметри обчислювальних експериментів: розміри клітинно-автоматного поля 250×250 мкм; розміри однієї клітини – 1 мкм. Параметри матеріалу аналогічні параметрам алюмінію з домішкою міді (Al-Cu): $T_m(0)$ = 660°C; H_m = 390 kJ/kg; q = 920 J/kg°C; ρ = 2475 kg/m^3; $tg(\alpha)$ = –15; K_0 = 0.17; $D_L = 3 \cdot 10^{-9}$ m^2/s. Початкова відносна концентрація домішки міді C_0 = 0.01, тобто 1%. Початкова температура відповідає температурі ліквідусу $T_L(C_0)$.

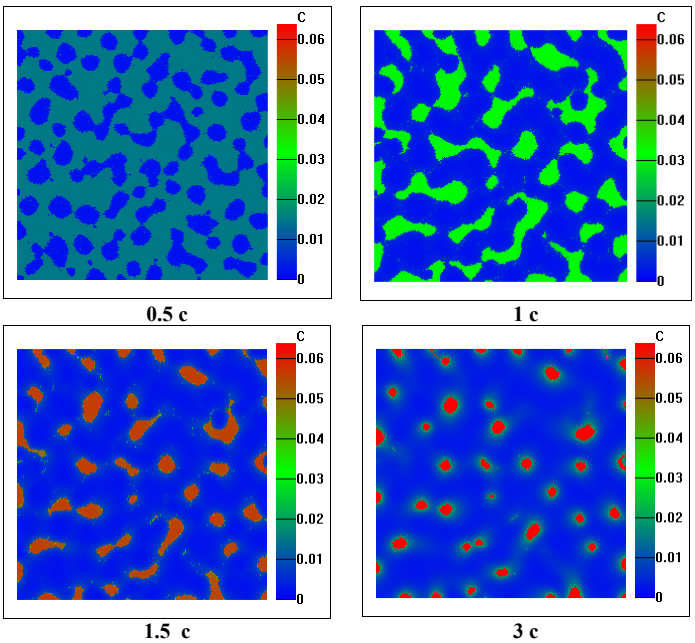


Рис. 6. Розподіл концентрації домішки у різні моменти часу при швидкості охолодження розплаву 0.1 K/c

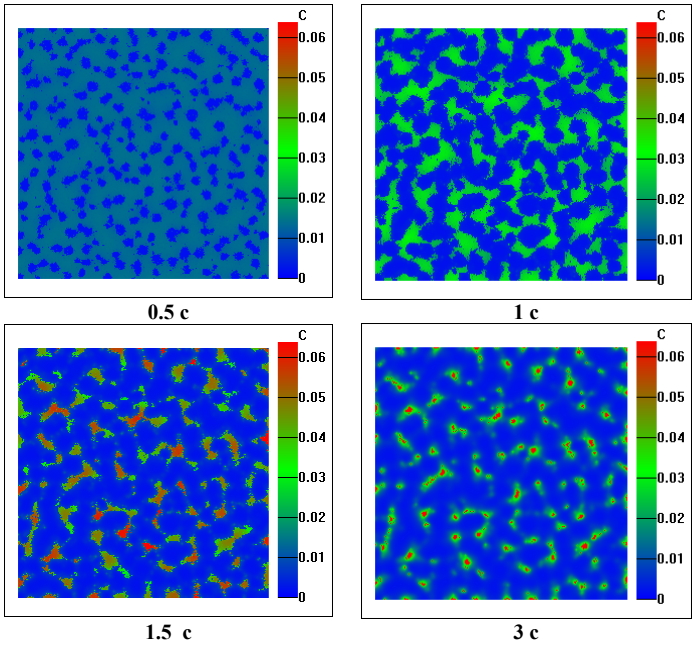


Рис. 7. Розподіл концентрації домішки у різні моменти часу при швидкості охолодження розплаву 1 К/с

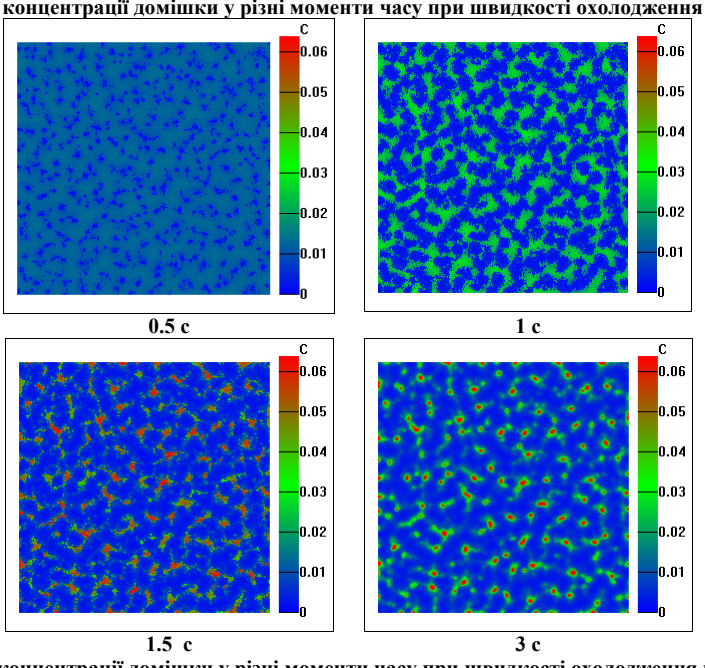


Рис. 8. Розподіл концентрації домішки у різні моменти часу при швидкості охолодження розплаву 10 К/с

Висновки. В даній статті детально викладена методика моделювання явища сегрегації домішки в кристалічних матеріалах за допомогою безперервних клітинних автоматів.

У результаті проведення ряду обчислювальних експериментів була підтверджена доцільність застосування запропонованої моделі.

У роботі представлені результати розрахунків відносної концентрації домішки і розподілу температури уздовж зразка.

Був використаний відомий критерій появи концентраційного переохолодження для порівняльного аналізу адекватності отриманих результатів. Ним є критична швидкість кристалізації (10), яка залежить від градієнта температур на міжфазній границі і від початкової відносної концентрації домішки. Зміна цих параметрів веде до зміни критичної швидкості і тим самим дає можливість уникнути на практиці такого небажаного явища, як пористий ріст кристала.

Запропонована модель, крім фіксації моменту переходу до концентраційного переохолодження, дозволяє також визначати характер пористого росту.

В подальших планах наших наукових досліджень - урахування орієнтації кристалографічних площин, анізотропія росту а також урахування можливих потоків рідкої фази як примусового, так і конвективного характеру. Урахування нових параметрів призведе до збільшення кількості площин КА поля (рис. 2) і розширенню функції взаємодії (3).

Література

1. J. von Neumann, Theory of Self-reproducing Automata, edited by A. Burks, Univ. of Illinois Press, 1966.

2. Li W., N. H. Packard, C. Langton, Transition Phenomena in Cellular Automata Rule Space Physica D, 45, 1990, pp. 77–94.

3. Wolfram S., A New Kind of Science, Champaign, IL: Wolfram Media, 2002.

4. Chate H. and Manneville P., Criticality in cellular automata, Physica D, 1990, 45, pp. 122–135.

5. Gutowitz H., A Hierarchical Classification of Cellular Automata, Physica D, 45, 1990, pp. 136–156.

6. McIntosh H., Wolfram's class IV automata and a good Life, Physica D, 45, 1990, pp. 105–121.

7. Zhikharevich V.V., Shumylyak L.M., Use of continuous cellular automata for simulation of thermal conductivity in systems with first order phase transition, International Journal of Computing 12 (2), 2013, pp. 142–150.

8. Ежовский Е.К. Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов : уч. пособие / Ежовский Е.К., Денисова О.В. – СПб : СЗТУ, 2005.

9. Burton J.A., Prim R.C., Slichter W.P., The Distribution of Solute in Crystals Growth from the Melt. Part I. Theoretical, J.Chem. Phys. 21 (11), 1953, pp. 1987–1991.

10. Жихаревич В.В. Построение и исследование непрерывной клеточной автомодельной модели процессов теплопроводности с фазовыми переходами первого порядка / В.В. Жихаревич, Л.М. Шумиляк, Л.Т. Струтинская, С.Э. Остапов // Компьютерные исследования и моделирование. – 2013. – 5 (2). – С. 141–15211.

11. Струтинская Л.С. Компьютерное моделирование условий формирования фронта плоской кристаллизации при выращивании термоэлектрического материала / Л.С. Струтинская, В.В. Жихаревич // Физика и химия твердых тел. – 2012. – 13 (4). – С. 1041–1046.

12. Жихаревич В.В. Аппроксимация решения нестационарного уравнения теплопроводности методом вероятностных непрерывных асинхронных клеточных автоматов для одномерного случая / В.В. Жихаревич, Л.М. Шумиляк // Компьютерные исследования и моделирование. – 2012. – 4 (2). – С. 293–301.

13. Tiller W.A., Rutter J.W., Jackson K A., Chalmers B., The redistribution of solute atoms during the solidification of metals, Acta Met. 8 (4), 1953, 428 p.

14. Лякишева Н. П. Диаграммы состояния двойных металлических систем / Лякишева Н. П. – Машиностроение, 2000.

References

1. J. von Neumann, Theory of Self-reproducing Automata, edited by A. Burks, Univ. of Illinois Press, 1966.

2. Li W., N. H. Packard, C. Langton, Transition Phenomena in Cellular Automata Rule Space Physica D, 45, 1990, pp. 77-94.

3. Wolfram S., A New Kind of Science, Champaign, IL: Wolfram Media, 2002.

4. Chate H. and Manneville P., Criticality in cellular automata, Physica D, 1990, 45, pp. 122-135.

5. Gutowitz H., A Hierarchical Classification of Cellular Automata, Physica D, 45, 1990, pp. 136-156.

6. McIntosh H., Wolfram's class IV automata and a good Life, Physica D, 45, 1990, pp. 105-121.

7. Zhikharevich V.V., Shumulyak L.M., Use of continuous cellular automata for simulation of thermal conductivity in systems with first order phase transition, International Journal of Computing 12 (2), 2013, pp. 142-150.

8. Ezhovskij E.K., Denisova O.V., Fiziko-himicheskie osnovy tehnologii poluprovodnikovyh materialov: Uch. posobie. SPb. : SZTU, 2005.

9. Burton J.A., Prim R.C., Slichter W.P., The Distribution of Solute in Crystals Growth from the Melt. Part I. Theoretical, J.Chem. Phys. 21 (11), 1953, pp.1987-1991.

10. Zhiharevich V.V., Shumiljak L.M., Strutinskaja L.T., Ostapov S.Je., Postroenie i issledovanie nepreryvnoj kletochnoj avtomodel'noj modeli processov teploprovodnosti s fazovymi perehodami pervogo porjadka, Komp'juternye issledovanija i modelirovanie 5 (2), 2013, s. 141-15211.

11. Strutinskaja L.S., Zhiharevich V.V., Komp'juternoe modelirovanie uslovij formirovanija fronta ploskoj kristallizacii pri vyrashhivanii termojelektricheskogo materiala, Fizika i himija tverdyh tel 13 (4), 2012, s.1041-1046.

12. Zhiharevich V.V., Shumiljak L.M., Approksimacija reshenija nestacionarnogo uravnenija teploprovodnosti metodom verojatnostnyh nepreryvnyh asinhronnyh kletochnyh avtomatov dlja odnomernogo sluchaja, Komp'juternye issledovanija i modelirovanie, 2012, 4 (2), s. 293-301.

13. Tiller W.A., Rutter J.W., Jackson K A., Chalmers B., The redistribution of solute atoms during the solidification of metals, Acta Met. 8 (4), 1953, 428 p.

14. Ljakisheva N. P., Diagrammy sostojanija dvojnyh metallicheskih sistem, Mashinostroenie, 1996-2000.

Рецензія/Peer review : 08.11.2017 р. Надрукована/Printed :03.02.2018 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК 637.5.02

О.І. НЕКОЗ
Національний університет харчових технологій
О.В. БАТРАЧЕНКО, Н.В. ФІЛІМОНОВА
Черкаський державний технологічний університет

ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ПИТОМОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ВОВЧКІВ

В існуючих конструкціях вовчків наявний резерв збільшення продуктивності. Авторами запропоновано підвищення питомої продуктивності вовчків шляхом забезпечення подачі сировини одночасно по всій робочій площі решіток різального вузла. Реалізувати таку подачу дозволяє застосування для подачі сировини двозаходного шнеку або іншого типу фаршевого насосу, здатного подавати сировину зі сталим значенням витрати по поперечному перерізу патрубку подачі. Встановлено, що застосування двозаходного шнеку забезпечує більш рівномірне нагнітання сировини по робочій площі решіток в кожний момент часу, ніж використання однозаходного. Застосування для подачі м'ясної сировини ексцентриково-лопатевого насосу дозволяє ще в більшому ступені підвищити продуктивність різального вузла. Розроблено дві конструктивні схеми вовчків, які дозволяють підвищити питому продуктивність даних машин. В обох схемах реалізована подача сировини одночасно по всій площі решіток різального вузла ступені остаточного подрібнення. Для цього в обох конструкціях передбачено попереднє подрібнення кускової м'ясної сировини.

Ключові слова: вовчок, шнек, м'ясо, подача, різальний вузол, питома продуктивність.

O. I. NEKOZ
National University of Food Technologies
O. V. BATRACHENKO, N. V. FILIMONOVA
Cherkassy State Technological University

PROMISING WAYS OF INCREASING THE SPECIFIC PERFORMANCE OF MEAT GRINDERS

In existing designs of meat grinders available reserve of increase in productivity. The authors propose to increase the specific performance of meat grinders by providing feed at the same time across the entire working area of the cutting unit lattices. To implement such a flow allows the application to feed auger or other type of stuffing pump capable of feeding the raw material with a constant value of flow at the cross section of the supply pipe. The use of auger provides a more uniform injection of the raw material in the working area grid at each moment of time than the use of single. Application for feeding of raw meat excentrique vane pump allows an even greater extent to improve the performance of the cutting unit. Developed two constructive schemes of meat grinders , which allow to increase the specific productivity of these machines. In both schemes implemented to feed material simultaneously over the entire area of the cutting grids of nodes with degree final grinding. To do this, both designs are provided pre-shredding lump of raw meat.

Keywords: meat grinder, auger, meat, feed, specific performance.

Постановка проблеми

М'ясорізальні вовчки використовуються для подрібнення кускового безкістового м'яса до стану фаршу або шроту. Конструктивні та експлуатаційні параметри машини визначаються, переважно конструкцією та габаритами основних робочих органів - ножів та решіток. Подальше вдосконалення вовчків можливе при системному взаємному узгодженні процесів подачі та подрібнення м'ясної сировини в різальному вузлі.

Проведені авторами дослідження в цьому напрямку [1–3] дозволили встановити специфічний характер подачі м'ясної сировини крізь різальний вузол однозаходним шнеком вовчка. Сировина в кожен момент часу подається не по всій робочій площі решіток різального вузла, а лише в межах деякого сектору, величина якого залежить від конструктивних параметрів шнеку та від структурно-механічних властивостей сировини. Подача сировини є максимальною в зоні наближення кінця витка шнеку до різального вузла. В зонах різального вузла, які відповідають віддаленню поверхні останнього витка шнеку від приймальної решітки, подача суттєво знижується та врешті повністю зникає. Означений сектор обертається разом зі шнеком. Подача сировини крізь окремо взятий отвір вихідної решітки різального вузла є дискретною, а не постійною, як це вважалось за результатами попередніх досліджень.

Встановлені відомості свідчать про недостатньо високу питому продуктивність вовчків. Існує резерв її збільшення шляхом забезпечення подачі сировини одночасно крізь усю площу решіток різального вузла. Актуальним є вироблення і обґрунтування таких технічних рішень, які дозволять підвищити питому продуктивність вовчків.

Аналіз останніх джерел

У відомих працях, зокрема в [4–9], відсутнє необхідне обґрунтування способів підвищення питомої продуктивності вовчків. **Метою роботи є:** вироблення і обґрунтування технічних рішень з підвищення питомої продуктивності вовчків.

Виклад основного матеріалу

Авторами пропонується підвищення питомої продуктивності вовчків шляхом забезпечення подачі сировини одночасно по всій робочій площі решіток різального вузла. Реалізувати таку подачу можна, на думку авторів, застосувавши для подачі сировини двозаходний шнек або інший тип фаршевого насосу, здатний подавати сировину зі сталим значенням витрати по поперечному перерізу патрубку подачі.

Дослідження проводились в ковбасному цеху м'ясопереробного підприємства. З метою перевірки вироблених рішень було виготовлено двозаходний шнек з кутом нахилу останніх витків α=8° для вовчка АЛ-130. Також в процесі досліджень використовувалась установка для подрібнення м'ясного фаршу на базі вакуумного шприца Handtmann VF 628 (рис. 1).

а) **б)**

Рис. 1. Установка для подрібнення м'ясного фаршу на базі вакуумного шприца *Handtmann VF 628*: а) загальний вид; б) ніж та ексцентриково-лопатевий фаршевий насос

Визначення інтенсивності подачі сировини крізь різальний вузол проводилось шляхом вимірювання величини зношування різальних окрайків лез ножів. Різальний комплект вовчка АЛ-130 складається з приймальної решітки діаметром 130 мм, двостороннього ножа та вихідної решітки з отворами діаметром 5 мм. Різальний комплект становки на базі вакуумного шприца також містить решітки із зовнішнім діаметром 130 мм. Визначення величини зношування різальних окрайків лез проводилось під час їх роботи до напрацювання на відмову, після чого ножі підлягали перезаточуванню.

Зношування окрайків визначалось шляхом вимірювання їх радіусу закруглення методом контрольних відбитків [10]. Затуплення кожного леза визначалось з обох його сторін в точках, що віддалені від кінця леза на 10 мм. При визначенні радіусу закруглення різальних окрайків використовувався оптичний мікроскоп МБС-9 (збільшення – ×56, ціна поділки шкали – 0,0178 мм) та цифрова фотокамера. Отримані цифрові фотознімки відбитків аналізувались за допомогою персонального комп'ютеру та графічної програми КОМПАС-3D V13. Після цього визначались кінцеві значення діаметру та радіусу закруглення різальних окрайків.

Отримані залежності зношування різальних окрайків від часу описуються рівнянням регресії (1):

$$y = a + b \cdot x, \quad (1)$$

де y − значення радіусу закруглення леза, мкм; x − номер леза ножа;

a, b – коефіцієнти регресії (табл. 1).

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів рівняння регресії

Вовчок АЛ-130 з двозаходним шнеком								
Коефіцієнти регресії	З боку приймальної решітки				З боку вихідної решітки			
	Лезо 1	Лезо 2	Лезо 3	Лезо 4	Лезо 1	Лезо 2	Лезо 3	Лезо 4
a	22,18	22,18	22,18	22,18	22,18	22,18	22,18	22,18
b	4,52	3,48	0,70	0,29	4,16	2,51	0,62	0,05

Для наочності кінцеві значення радіусу закруглення лез наведені на рис. 2. Використання двозаходного шнеку у вовчку АЛ-130 призвело до чітко вираженої зміни результатів вимірювання гостроти різальних окрайків різних лез ножа.

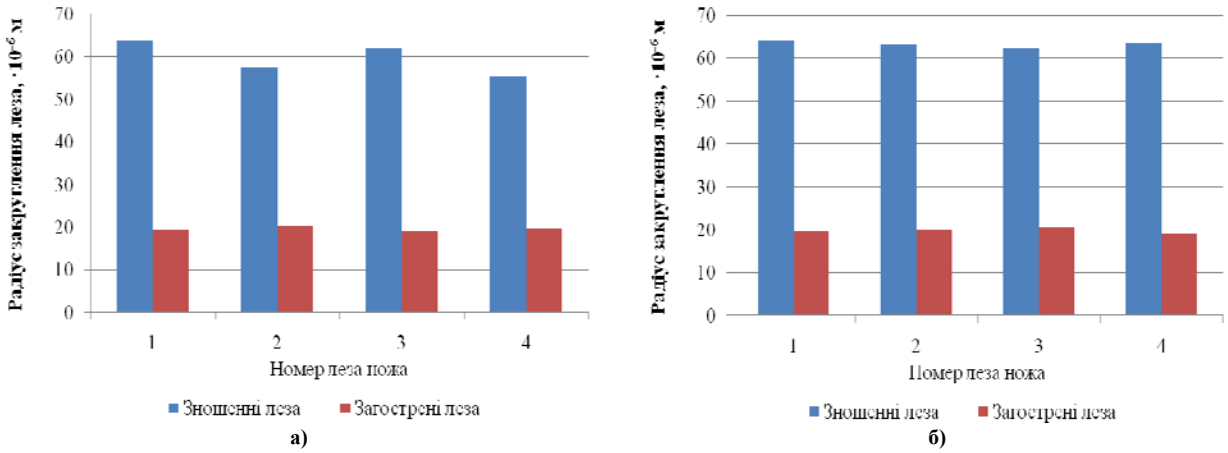


Рис. 2. Порівняння граничних значень радіусу закруглення різальних окрайків лез ножа з боку вихідної решітки: а) для вовчка АЛ-130 при використанні двозаходного шнеку; б) для вовчкової насадки шприца Handtmann VF 628

Як слідує з рис. 2, застосування двозаходного шнеку забезпечує більш рівномірне нагнітання сировини по робочій площі решіток в кожний момент часу, ніж використання однозаходного. В даному випадку можна говорити про майже рівномірну подачу сировини по робочій поверхні решіток шнеком вовчка. Цей результат можна пояснити наявністю двох секторів подачі сировини, кожен з яких відповідає своєму заходу спіралей шнеку (рис. 3, а). Як слідує з отриманих результатів, застосування двозаходного шнеку дозоляє підвищити продуктивність вовчка на 84%.

Продуктивність вовчкової насадки вакуумного шприца Handtmann VF 628 при використанні вихідної решітки з отворами діаметром 5 мм склала 5320 кг/год, що є більшим за продуктивність вовчка АЛ-130 з двозаходним шнеком на 18%. Зношування лез ножа при цьому було ще більш рівномірним в порівнянні з двозаходним шнеком вовчка АЛ-130 (рис. 3, б).

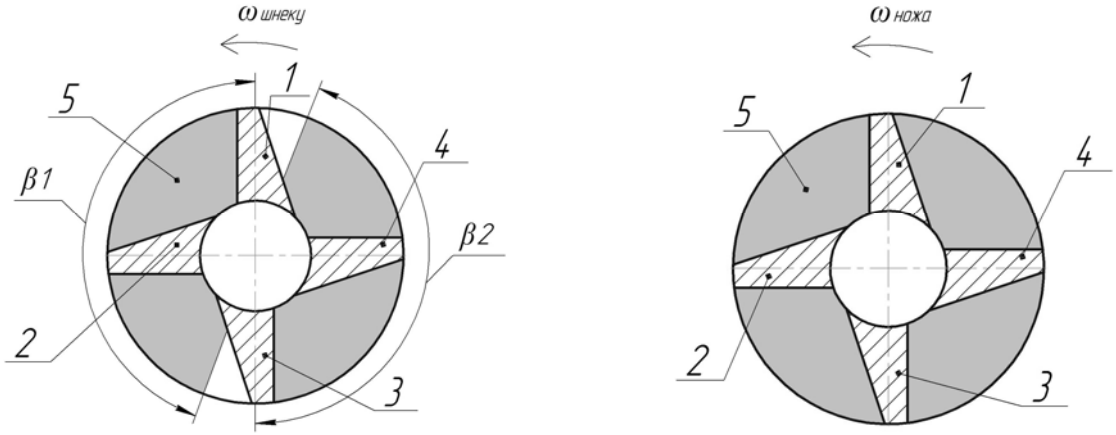
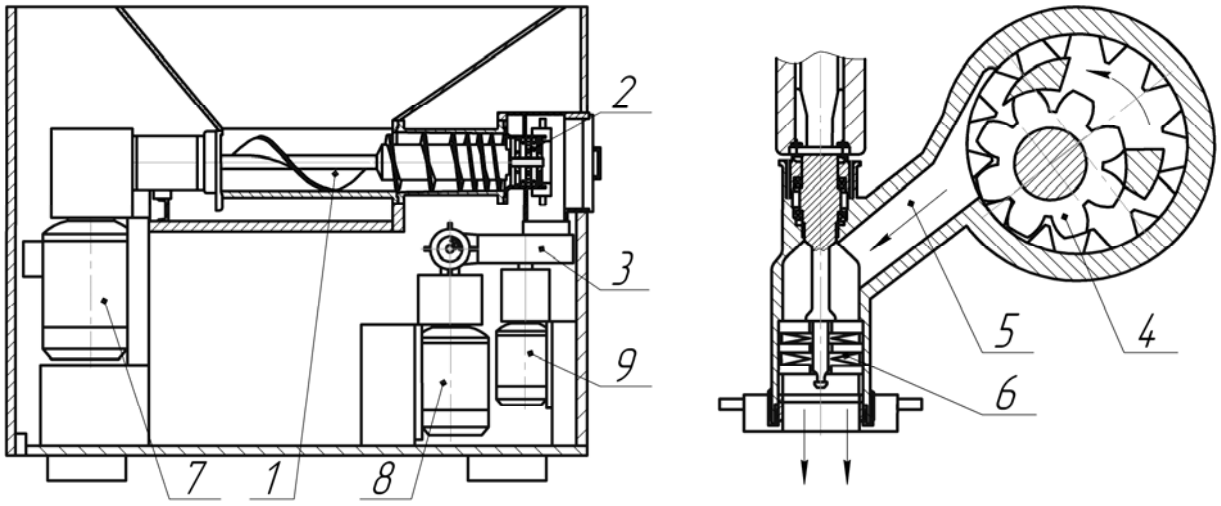


Рис. 3. Схема заповнення решіток різального вузла сировиною при її подачі: а) двозаходним шнеком вовчка АЛ-130; б) ексцентриково-лопатевим насосом шприца Handtmann VF 628; 1-4 – леза ножа; 5 – сировина, яка подається шнеком; β_1, β_2 – значення кута, який окреслює зону подачі сировини у різальний вузол, відповідно, першим та другим заходом спіралі шнека

На основі результатів експериментальних досліджень авторами розроблено нову конструкцію вовчка (рис. 4), яка дозволяє забезпечити вирішення наступних задач: підвищення продуктивності процесу подрібнення сировини, безступінчаста зміна ступеню її подрібнення без зупинки машини, підвищення надійності роботи вовчка при переробці твердої та в'язкої сировини. Вовчок містить подрібнювальний шнек 1, призначений для подрібнення замороженої сировини, та різальний комплект попереднього подрібнення 2 нижче якого розташовано вузол кінцевого подрібнення 3, що складається з шестеренного фаршевого насосу внутрішнього зачеплення 4, патрубку 5 та різального комплекту кінцевого подрібнення 6. Вовчок містить приводи 7 – 9. Використання насосу 4 дозволяє забезпечити подачу сировини в кожний момент часу по усій площі решіток різального комплекту 6, чим забезпечуються наведені вище переваги конструкції.

Однак схема, наведена на рис. 4, є конструктивно складною, вона непридатна для вовчків середньої та малої продуктивності через невеликі габарити цих машин. Саме тому авторами розроблено спрощену, більш компактну, конструкцію вовчка, в якій реалізовано можливість істотного підвищення питомої продуктивності (рис. 5). Вовчок складається з робочого циліндру 1, в якому обертається перший шнек 2, крізь порожнину якого проходить вал 3, на якому розташовано другий дво- або трьохзаходний шнек 4. Шнеки 2 і 4 мають роздільний привод та зустрічне обертання. Також разом із валом 3 обертаються ніж попереднього подрібнення 5 та ніж кінцевого подрібнення 6. Для центрування валу 3 і шнеку 2 служить

решітка попереднього подрібнення 7, в порожнині якої, а також в порожнині шнеку 2, розміщено підшипники ковзання 8 і 9. Попереднє подрібнення сировини здійснюється лезом 10, решіткою 7 , та ножем 5. Кінцеве подрібнення здійснюється ножем 6 з приймальною решіткою 11, а також ножем 6 з вихідною решіткою 12. Привод шнеку 2 і валу 3 може здійснюватись від одного електродвигуна за допомогою відповідної передачі або від двох окремих електродвигунів (не показано). Виконання шнеку 4 трьохзаходним та з малим значенням кроку дозволяє забезпечити нагнітання сировини по усій робочій поверхні решіток 11 і 12, а також створити високий тиск нагнітання (що є важливим при використанні вихідної решітки 12 з мілкими отворами). В результаті досягається суттєво вища питома продуктивність вовчка у порівнянні з відомими аналогами, при цьому необхідні конструктивні зміни вовчка та зміни порядку його технічного обслуговування мінімальні. На розроблені технічні рішення отримано патент України на корисну модель № 88059.



а) **б)**

Рис. 4. Конструктивна схема вовчка підвищеної продуктивності:
а) будова вовчка; б) вузол кінцевого подрібнення; 1 - подрібнювальний шнек; 2 - різальний комплект попереднього подрібнення;
3 - вузол кінцевого подрібнення; 4 - шестеренний фаршевий насос; 5 - патрубок; 6 - різальний комплект кінцевого подрібнення; 7–9 - приводи

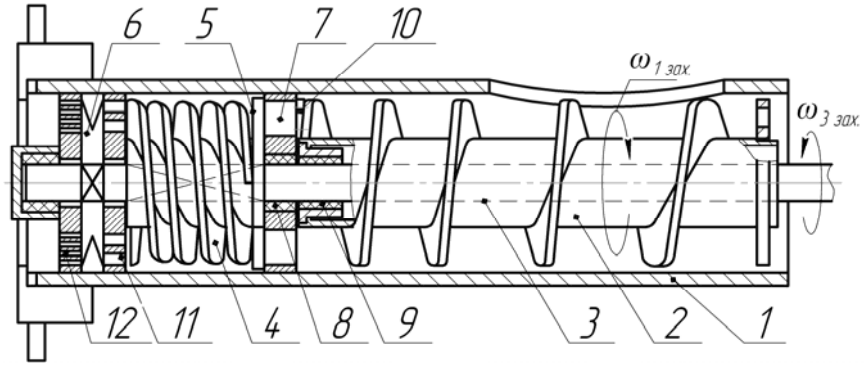


Рис. 5. Устрій вовчка підвищеної продуктивності з двома коаксіальними шнеками

Висновки

Авторами запропоновано підвищення питомої продуктивності вовчків шляхом забезпечення подачі сировини одночасно по всій робочій площі решіток різального вузла. Реалізувати таку подачу дозволяє застосування для подачі сировини двозаходного шнеку або іншого типу фаршевого насосу, здатного подавати сировину зі сталим значенням витрати по поперечному перерізу патрубку подачі.

Встановлено, що застосування двозаходного шнеку забезпечує більш рівномірне нагнітання сировини по робочій площі решіток в кожний момент часу, ніж використання однозаходного. Цей результат можна пояснити наявністю двох секторів подачі сировини, кожен з яких відповідає своєму заходу спіралей шнеку. Як слідує з отриманих результатів, застосування двозаходного шнеку дозоляє підвищити продуктивність вовчка на 84%. Застосування для подачі м'ясної сировини ексцентриково-лопатевого насосу дозволяє ще в більшому ступені підвищити продуктивність різального вузла.

Розроблено дві конструктивні схеми вовчків, які дозволяють підвищити питому продуктивність даних машин. В обох схемах реалізована подача сировини одночасно по всій площі решіток різального вузла ступені остаточного подрібнення. Для цього в обох конструкціях передбачено попереднє подрібнення кускової м'ясної сировини.

Література

1. Некоз О. І. Дослідження інтенсивності зношування лез ножа вовчка / О. І. Некоз, Н. В. Філімонова, С. О. Філімонов // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2013. – № 2. – С. 128–132.

2. Осипенко В. І. Теоретичне визначення коефіцієнту продуктивності вовчка / В. І. Осипенко, Н. В. Філімонова, О. В. Батраченко, С. О. Філімонов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 5. – С. 36–43.

3. Некоз О. І. Особливості гідродинаміки м'ясної сировини при її подачі шнеком вовчка / О. І. Некоз, О. В. Батраченко, Н. В. Філімонова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. – № 5.

4. Некоз С. О. Підвищення ефективності роботи і довговічності різального комплекту м'ясорізальних вовчків : дис. … кандидата техн. наук / С. О. Некоз – Київ : УДУХТ, 2001. – 165 с.

5. Батраченко О. В. Підвищення ефективності роботи та довговічності м'ясорізальних машин : дис. … кандидата техн. наук : 05.18.12 / Батраченко Олександр Вікторович. – Вінниця, 2014. – 284 с.

6. Вербицкий С. Б. Измельчение мясного сырья / С. Б. Вербицкий, В. В. Шевченко, А. В. Батраченко // Мясной бизнес. – 2010. – № 5. – С. 84–96.

7. E. Haack, W. Schnackel, J. Krickmeier, „Wirkungsgrade deutlich verbessern“, Fleischwirtschaft, № 6, 2012 pp. 25–33.

8. W. Schnackel, „Energieersparnis durch inelligente technik“, Fleischwirtschaft, № 7, 2013 pp. 24–30.

9. W. Schnackel, J. Krickmeier, W. Pongjanyanukul, Dmitrinka Schnackel, I. Micklisch, Oliver Haack, „Untersuchungen zur optimierung des wolfprozesses. Teil 4“, Fleischwirtschaft, №7, 2012 pp. 91–96.

10. Ясь Д. С. Испытание на трение и износ. Методы и оборудование / Д. С.Ясь, В. Б. Подмоков, Н. С. Дяденко. – К. : Техника, 1971. – 140 с.

References

1. Doslidzhennya intensy`vnosti znoshuvannya lez nozha vovchka / [O. I. Nekoz, N. V. Filimonova, S. O. Filimonov ta in.] // Visny`k Cherkas`kogo derzhavnogo texnologichnogo universy`tetu. – 2013. – № 2. – S. 128–132.

2. Teorety`chne vy`znachennya koeficiyentu produkty`vnosti vovchka / V. I. Osy`penko, N. V. Filimonova, O. V. Batrachenko, S. O. Filimonov // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2015. – № 5. – S. 36 – 43.

3. Nekoz, O. I. Osoblyvosti hidrodynamiky miasnoi syrovyny pry yii podachi shnekom vovchka. / O. I. Nekoz, O. V. Batrachenko, N. V. Filimonova // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2017. – № 5.

4. Nekoz S. O. Pidvy`shhennya efekty`vnosti roboty` i dovgovichnosti rizal`nogo komplektu m'yasorizal`ny`x vovchkiv: dy`s…. kandy`data texn. nauk. / S. O. Nekoz – Ky`yiv: UDUXT, 2001. – 165 s.

5. Batrachenko, O. V. Pidvy`shhennya efekty`vnosti roboty` ta dovgovichnosti m'yasorizal`ny`x mashy`n: dy`s.... kandy`data texn. nauk: 05.18.12 / Batrachenko Oleksandr Viktorovy`ch. – Vinny`cya, 2014. – 284 s.

6. Verby`czky`j S. B. Y`zmel`cheny`e myasnogo syr`ya / S. B. Verby`czky`j, V. V. Shevchenko, A. V. Batrachenko // Myasnoj by`znes. – 2010. - №5. – S.84-96.

7. E. Haack, W. Schnackel, J. Krickmeier, „Wirkungsgrade deutlich verbessern“, Fleischwirtschaft, № 6, 2012 pp. 25-33.

8. W. Schnackel, „Energieersparnis durch inelligente technik“, Fleischwirtschaft, № 7, 2013 pp. 24-30.

9. W. Schnackel, J. Krickmeier, W. Pongjanyanukul, Dmitrinka Schnackel, I. Micklisch, Oliver Haack, „Untersuchungen zur optimierung des wolfprozesses. Teil 4“, Fleischwirtschaft, №7, 2012 pp. 91-96.

10. Ias D. S. Yspytanye na trenye y yznos. Metody y oborudovanye / D. S.Ias, V. B. Podmokov, N. S. Diadenko. – K.: Tekhnyka, 1971. – 140 s.

Рецензія/Peer review : 18.11.2017 р. Надрукована/Printed :04.02.2018 р.
Рецензент: к. т. н., доцент Л. М. Мізнік

УДК [681.51+007.52]:[664.6:504.6(1)]

В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, Ю.М. КОРЕНЕЦЬ
Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг

ПРОЕКТУВАННЯ РОБОТОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ З ВИРОБНИЦТВА ХЛІБА ДЛЯ ТЕРИТОРІЙ З ТЕХНОГЕННИМ ТИСКОМ

Розроблено принципи проектування робототехнологічного комплексу з виробництва інноваційних сортів хліба для людей, що мешкають на території з техногенним тиском. Дано визначення робототехнологічного комплексу з кавітаційними інтенсифікаторами очищення води, дезінтеграції дріжджів, оптимального приготування опари та тіста. Наведено задачі оптимального планування технологічних операцій та визначено траєкторії управління виробництвом хліба з інтелектуальною системою підтримки прийняття управлінських рішень і діалогову систему управління портфелем замовлень. Побудовано модель технічного зору з системою трьохвимірних зображень апаратів й руху діжі. В багаторівневій системі управління робототехнологічним комплексом алгоритми оптимізації приготування опари, тіста й хліба базуються на нечіткій інформації опосередкованого виміру параметрів вологи, густини, сили борошна, температури тіста та його запаху. У системах керування вбудованими у процес робототехнологічними інтенсифікаторами, виконавчими механізмами руху діжі, вистоювання й розділення, випікання тістових заготовок використані нечіткі регулятори з системами фазофікації, нечіткого логічного висновку, дефазифікації та корекції.

Ключові слова: робототехнологічний комплекс, інтенсифікатори, кавітація, ультразвук, технічний зір, експертні системи, нечітке адаптивне керування

V.P. KHOROLSKYI, YU.M. KORENETS
Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine

DESIGN OF ROBOTOTECHNOLOGICAL COMPLEX FOR BREAD MANUFACTURING FOR TECHNOLOGICAL TERRITORIES

Abstract. Developed design principles robotteknologi complex for the production of innovative varieties of bread for people living in areas with anthropogenic pressure. This definition robotteknologi complex with cavitation intensifiers water purification, disintegration of yeast, optimum cooking of the dough and dough. Given the problem of optimal planning of technological operations and defined trajectory control the production of bread with an intellectual system of support of managerial decision-making, and dialog management system portfolio. The model-based vision system with three-dimensional images of vehicles and the movement of the bowl. In a multilevel system of control robotechnology complex optimization algorithms making dough, dough and bread based on fuzzy information indirect measurement of moisture, density, strength of flour, the dough temperature and its smell. In control systems embedded in the process robotertechnologie intensifiers, actuators movement of the bowl, maturation and separation, baking dough pieces used fuzzy controllers with phasion systems, fuzzy logic, dephasefikation and correction.

Keywords: robottechnology complex, intensifiers, cavitation, ultrasound, machine vision, expert systems, fuzzy adaptive control

Постановка задачі

Сучасний стан хлібопекарної галузі України тісно взаємопов'язаний з технічним рівнем технологічного обладнання. Одним із принципів створення високоякісної продукції для регіонів з високим рівнем забруднення навколишнього середовища є застосування у виробничому процесі роботизації та штучного інтелекту, які передбачають мінімізацією участі людини у виробничих процесах. Виробництво хлібобулочних виробів для людей, які мешкають на забруднених територіях, вимагає використання технологій очищення та активації води, оптимізації складу підсилюючих компонентів, покращувачів, збагачувачів, біологічно активних добавок тощо з метою виробництва хліба з інноваційними властивостями [1].

Підприємства з виробництва хлібопекарських виробів Дніпропетровської області за останні п'ять років накопичили значний досвід з розробки та впровадження новітнього обладнання щодо автоматизації технологічних процесів підготовки сировини, виробництва опари, тіста та випікання хлібобулочних виробів.

У європейській практиці виробництва хліба в останнє десятиріччя відмічається використання технологічного обладнання переважно таких відомих фірм: GOSTOL (Словенія), FRITSCH, DIOSNA, HARTMAN (ФРН), GLIMEK(Швеція), KONIG (Австрія). Обладнання цих марок на сьогодні має високий рівень автоматизації на базі SCADA-систем [2]. Таке обладнання розраховане на однорідну за якісними показниками сировину та додаткове використання підсилювачів.

У той же час виконання технологічних операцій хлібопекарського виробництва таких, як заміс тіста, бродіння опари, відстоювання тіста, бродіння тіста, розділ тіста на шматки, округлення шматків, формування тістових заготовок, випікання, охолодження та збереження хліба відносяться до складних динамічних процесів [3, 4]. В свою чергу показники якості хлібопекарських виробів залежать не лише від режимів протікання кожної технологічної операції, але й від компетенції технологів-операторів, рівня інформаційного, алгоритмічного та програмного забезпечення, інтелектуально-інформаційної підтримки прийняття рішень оператора або особи, що приймає рішення (ОПР).

Головну роль в цьому випадку буде відігравати рівень інтелектуалізації та роботизації обладнання, спеціального програмного забезпечення, яке використовує останні досягнення інформаційних та інженерних технологій. Отже питання проектування робототехнологічних комплексів з адаптивними системами управління інтенсифікаторами та керування складними процесами підготовки сировини до виробництва,

води, розчинів, опари, тіста, випікання хліба є пріоритетними при автоматизації хлібопекарського виробництва. При цьому впровадження працезберігаючих технологій є актуальними перспективними задачами щодо розвитку технологій виробництва продуктів харчування для територій з техногенним тиском та високим рівнем забруднення навколишнього середовища без втручання людини.

Аналіз досліджень та публікацій

Над проблемою розробки автоматизації та інтелектуалізації технологічних процесів хлібопекарського виробництва працювали вітчизняні вчені І.Е. Ельперін, В.В. Щербаченко, Л.А. Злобін, М.М. Благовєщєнська, В.Ю. Юрчак, Ю.В. Устинов, Є.Н. Півень, Г.В. Калениченко, В.Я. Черних, В.Д. Кишенько, С.С. Шаруда, С.М. Швед.

В роботах цих авторів розглянуті питання саме автоматизації, алгоритмізації процесів, регулювання приготування хліба та підвищення його якості, розробка моделей оцінки якості, технічних засобів вимірювання вологості, оптимізації відстоювання тістових заготівок, управління процесами приготування тіста та оптимізації процесів випікання хліба з використанням систем інтелектуального управління, розроблено моделі експертного оцінювання та прогнозування якості продукції й діагностики на базі нейронних систем [5, 6].

На думку авторів [1, 7, 8] традиційне управління сучасним процесом виробництвом хліба, як складним об’єктом із високим рівнем запізнення, та з урахуванням низьких хлібопекарських властивостей сировини – борошна, води, дріжджів – не дозволяє отримати задані лікувально-профілактичні характеристики продукції, спрямовані на людей, які мешкають на територіях із техногенним тиском.

Отже, впровадження робототехнологічних комплексів з інтенсифікаторами технологічних операцій кавітаційного типу обробки сировини (води, розсолів, інших інгредієнтів) вимагає додаткових досліджень впливу ультразвукових коливань на технологічне середовище.

Авторами [9, 10] доведено наступне: ультразвукова кавітація викликає підсилення перемішування рідини мікропотоками, які утворюються навколо бульбашок, що постійно коливаються. Таке перемішування особливо корисне в технологічному процесі виробництва хліба при збагаченні його вітамінами, мінеральними речовинами та йодом. Використовуючи процеси ультразвукового диспергування, можна підготувати суспензії (розчини солі, цукру, вітамінних компонентів), які матимуть значно вищі фізико-хімічні та смакові характеристики, але для цього під час проведення технологічних операцій слід дуже ретельно контролювати та управляти одночасно багатьма параметрами.

Для здійснення цього доцільно спроектувати робототехнологічний комплекс з багаторівневою системою автоматизованого управління технологічним процесом (АСТУП) виробництва хліба з сучасними інтелектуальними системами підтримки прийняття рішень (ІСППР). До складу робототехнологічного комплексу повинні входити системи ультразвукової кавітації очистки води, вбудовані в технологічну лінію виробництва хліба, системи дезінтеграції, перемішування та інтенсифікації мікробіологічних, біологічних, колоїдних, хімічних, гідродинамічних процесів виробництва хліба [10].

Такий інженерний підхід дозволить розробити інноваційні продукти з підвищеною харчовою та біологічною цінністю, тобто спроектувати обладнання для виробництва хліба з лікувально-профілактичними властивостями.

Формулювання цілей

Метою роботи є розробка проектних рішень щодо створення багаторівневого робототехнологічного комплексу з високим рівнем інтелектуалізації, комунікації та інформатизації технологічних операцій виробництва хліба з вбудованими в процес роботами-інтенсифікаторами.

Виклад основного матеріалу дослідження

Робототехнологічними інтелектуальними комплексами будемо називати автоматизовані системи з розвиненими сенсорними здібностями оцінки внутрішніх параметрів об’єкту керування та вихідних змінних сировини, води та інших інгредієнтів, в яких поліпшення характеристик продукції досягається за рахунок вбудованих у технологічний процес автоматизованих систем контролю, адаптивних систем управління та інтенсифікаторів процесів дозування, очищення, диспергування, приготування опари та тіста, вистоювання, випікання.

Основна задача робототехнологічного комплексу з інтелектуальною системою підтримки прийняття управлінських рішень (ІСППУР) – забезпечити працездатність процесу виробництва хліба в умовах нечіткої інформації про характеристики обладнання, якість борошна, солі, цукру, олії та інших поліпшувачів продукції.

Основне завдання робототехнологічних інтенсифікаторів з ультразвуковими кавітаційними випромінювачами (РУЗК) реалізувати такі технологічні операції:

- водопідготовка (фільтрація, очищення, активація, іонізація тощо);
- приготування розчинів солі, цукру, олії, покращувачів і т. і.;
- диспергування рідких дріжджів, борошна та приготування опари;
- активація хлібопекарних дріжджів з використанням ультразвукових технологій (УЗТ) з метою покращення споживчих властивостей хліба;
- диспергування зерна з пророщеної пшениці та виготовлення хлібопродуктів функціонального

призначення для людей, які проживають на забруднених територіях;

- виготовлення тіста з використанням емульсій, у тому числі таких, які вміщують крохмально-білкові компоненти;
- збагачення тіста вітамінами, мінеральними речовинами, йодовміщуючими та біологічно активними добавками (БАД);
- диспергування в тісто мікрочастинок харчової сировини тваринного походження (м'яса, м'ясних субпродуктів, гідробіонтів) та рослинного походження (сої та соєвих компонентів) для виготовлення збагаченого протеїном хліба для дітей та людей з високим рівнем енерговитрат, тяжкими умовами праці (шахтарі, металурги, військовослужбовці тощо);
- виробництво стійкої та стабільної у зберіганні хлібобулочної продукції.

Робототехнологічний комплекс управління технологічними операціями приготування опари та тіста, вистоювання, випічки представлений такими задачами:

- планування траєкторії положення живильників;
- планування часу виготовлення опари, планування траєкторії руху діж;
- планування часу виготовлення тіста;
- планування часу подачі інгредієнтів;
- планування часу вистоювання;
- планування траєкторії випікання хліба із заданими інноваційними характеристиками;
- планування траєкторії виробництва сортів хліба, та виконання портфеля замовлення (оптимізація параметрів логістики).

Ці задачі траєкторного управління формують:

- експертна система (ЕС) інтелектуального управління;
- підсистема планування виробництва інноваційних сортів хліба;
- діалогова система управління портфеля замовлень, (ДСУПЗ);
- ІСППУР;
- адаптивні системи управління;
- ідентифікатор технологічного середовища.

Усі вищеназвані задачі траєкторного управління та підсистеми дозволять інженерам з інтелектуального управління підприємством спроектувати архітектуру робототехнологічного комплексу з використанням SCADA-систем, наведену на рисунку 1.

Архітектура комплексу включає такі елементи:

- МКП – монітор корпоративної продуктивності;
- АРМ – автоматизовані робочі місця: $АРМ_1$ – диспетчера хлібопідготовки, $АРМ_2$ – виробництва хліба, $АРМ_3$ – логістики;
- БК – блок корекції;
- НМ – нейромережу;
- СВ – систему візуалізації;
- $Д_1$-$Д_{14}$ – датчики змінних;
- GS – комунікаційну систему каналів зв'язку через інформаційну шину (ВШ);
- RTU – термінал, який обробляє інформацію з датчиків $Д_1$-$Д_{14}$;
- $П_1$-$П_2$, $П_3$-$П_4$, $П_5$-$П_6$ – систему п'єзо-датчиків ультразвукових сигналів із системами автоматизованого контролю $САК_1$ і $САК_2$;
- $САК_3$ – систему автоматизованого контролю параметрів води, розчинів, температури, вологи, потужності, витрат газу тощо.

Ідентифікатор технологічного середовища (ІТС) оцінює робочі характеристики обладнання та технологічні параметри борошна, дріжджів, води, початкові температури бродіння опари й тіста. Для опису динамічних процесів та ідентифікації технологічних змінних виробництва хліба в роботі використані закони масопереносу, Дальтона, Стокса [11]. Ароматичні властивості дифузії парів і вологи з поверхні опари та тіста можна ідентифікувати за допомогою датчика запаху TGS 2620.

При цьому системи ДСУПЗ, ІСППУР з блоками бази даних (БД), нейромережевими системами (НМ), блоками корекції (БК), системами інтерфейсів та автоматизованих робочих місць ($АРМ_1$, $АРМ_2$, $АРМ_3$) з монітором корпоративної продуктивності (МКП) значно підвищує керованість складного технологічного процесу виробництва хліба з інноваційними характеристиками.

Справа в тому, що ІСППУР та ДСУПЗ з технологіями імітаційного моделювання з базою прецедентів (БП) можна використати в процесі організації рішень щодо виробництва різних сортів хліба підвищеної харчової та біологічної цінності з лікувально-профілактичними характеристикам для дітей, гірників, металургів, військовослужбовців.

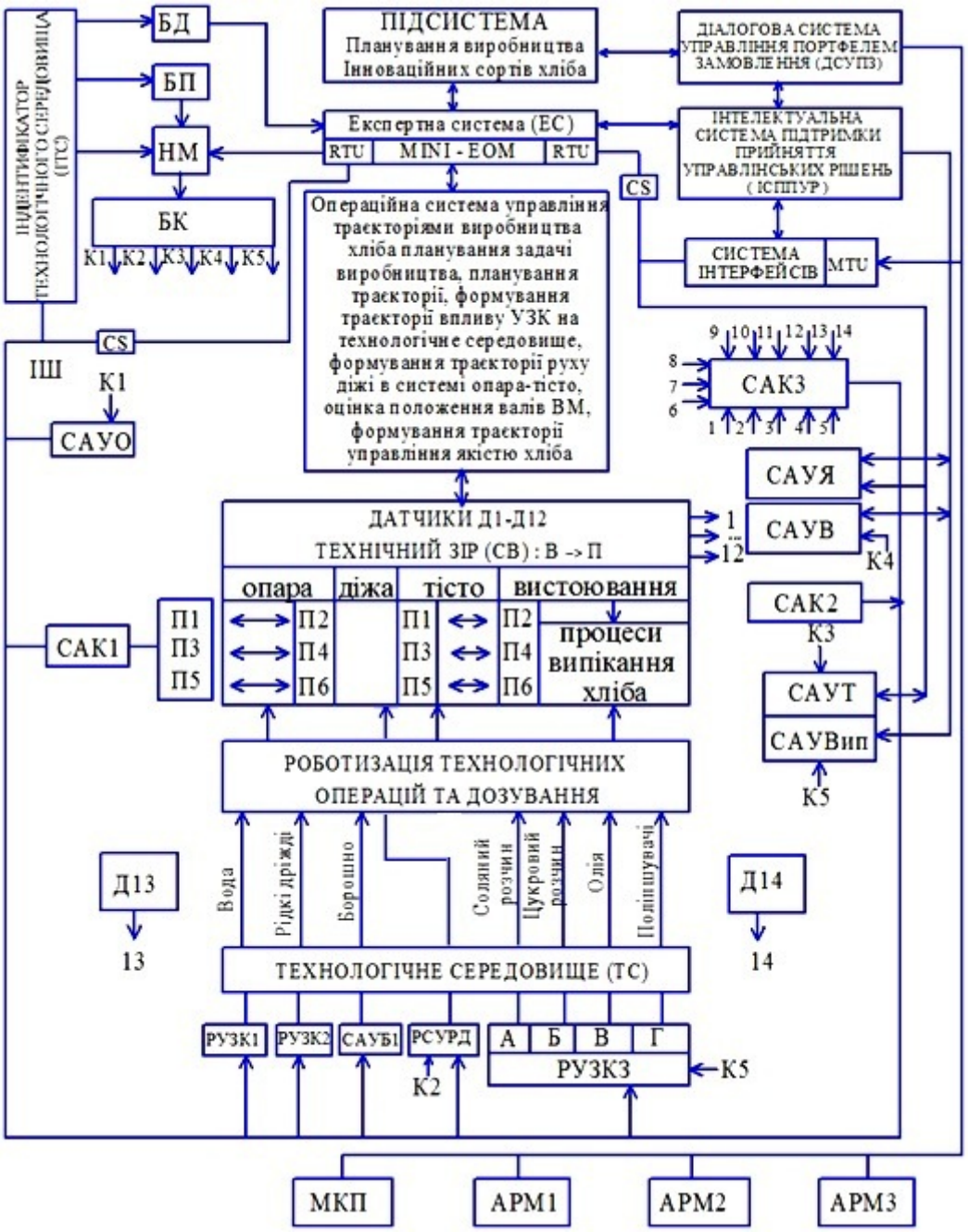


Рисунок 1. Архітектура роботехнологічного комплексу з виробництва хліба

Прецедент – це опис проблеми або ситуації в сукупності з детальною вказівкою дій персоналу та операторів або послідовність операцій щодо стабілізації параметрів борошна, води та інших компонентів, у тому числі поліпшувачів. У розробленій системі (рисунок 1) контроль параметрів очищеної води, борошна, газоутворюючої здатності борошна, густини рідких дріжджів, густини соляного та цукрового розчинів та інших компонентів, вологості опари, густини опари, температури тіста, вологості тіста, кислотності опари, підйомної сили тістової заготівки, тривалості вистоювання тістових заготівок, пористості тістових заготівок, температури в шафі вистоювання, маси тістових заготовок, температурних режимів роботи печі та витрат газу виконано за допомогою систем автоматичного контролю (САК): $САК_1$, $САК_2$, $САК_3$, та датчиків $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$ … $Д_{13}$, $Д_{14}$, системи візуалізації – системи технічного зору (СТЗ), ультразвукових датчиків контролю якості опари й тіста $П_1$-$П_2$; $П_3$-$П_4$; $П_5$-$П_6$.

В ІСППР прецедент включає: проблемну ситуацію (Sn), яка описує стан досліджуваного процесу, час виникнення прецеденту, рішення проблеми після виникнення проблемної ситуації. В цьому випадку рішення нетипових ситуацій і їх розпізнавання виконано з використанням апарату штучних нейронних мереж (НМ). В управлінні стадіями виробництва опара→тісто→діжа→вистоювання→випікання важливу роль відіграє система візуалізації (СВ) технічного зору робототехнологічного комплексу.

Зображення поверхні опари в діжі, тіста в тістомісильній машині, шматків тіста в момент *t* можна виразити через потрійний інтеграл Фур'є:

$$Q(x,y,t)=\frac{1}{(2\Pi)}\int_{-\infty-\infty-\infty}^{+\infty+\infty+\infty}\int\int S(\omega_x,\omega_y\,\omega exp\Big[J(\omega_x x+\omega_y y+\omega t\Big]d\omega_x\,d\omega_y\,d\omega \quad (1)$$

де ω_x, ω_y – просторова кутова частота, яка зв'язана з довжиною хвилі λ_x, λ_y а також числом періодів ϑ, v на одиницю довжини у напрямку осі (x,y) співвідношеннями:

$$\omega\lambda_x = 2\pi u = \frac{2\pi}{\lambda_x}\ ; \quad (2)$$

$$\omega_y = 2\pi v = 2\pi/\lambda_y\ ; \quad (3)$$

ω – кутова частота;

$S(\omega_x,\omega_y,\omega)$ – безперервний просторово-частотний спектр зображення $Q(x,y,t)$:

$$S\left(\omega_x\omega_y\omega\right)=\int_{-\infty-\infty-\infty}^{+\infty+\infty+\infty}\int\int Q\ (x,y,t)exp\Big[-J\left(\omega_x x+\omega_y y+\omega t\right)\Big]dxdydt \quad (4)$$

Зображення представлено у вигляді без кінцевої суми просторових гармонічних складових неперервного аргументу.

Нерухоме зображення діжі або тістомісильної машини не залежить від часу і є функцією координат на площині (x,y). У результаті перетину потоку зображення діжі у будь-який момент t утворюється поле зображення, характеристики якого запишемо з аналогічно позначеними вище символами у вигляді:

$$Q\left(x,y\right)=\frac{1}{(2\pi)^2}\int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty}\int S(\omega_x\omega_y)exp\Big[J\left(\omega_x x+\omega_y y\right)\Big]d\omega_x d\omega_y\ , \quad (5)$$

$$S\left(\omega_x\omega_y\right)=\int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty}\int Q\left(x,y\right)exp\Big[-J\left(\omega_x x\omega_y y\right)\Big]dxdy \quad (6)$$

Вхідне зображення діжі є трьохмірною безперервною функцією координат (x,y,t). Відеоінформація, що формується відеокамерами (B_1, B_2, B_3) і перетворювачами сигналу ($ПР_1$, $ПР_2$, $ПР_3$) та надходить до $САК_3$, може характеризуватися трьохмірною функцією $R(x,y,t)$.

У відповідності з цифровими методами передачі зображення виокремлюється система звітів, яка характеризується функцією розкладання $D(x,y,t)$.

Виразити функцію розкладання R(x,y,t) та дискритизуючу функцію розвинення $D(x,y,t)$ можна за допомогою послідовних функцій Дирака $\delta(x,y,t)$ [11].

Сформована передавачем (Пр) відеоінформація $I(x,y,t)$ пов'язана з вхідним потоком зображення $D(x,y,t)$ відповідним співвідношенням:

$$I\ (x,y,t) = D(x,y,t) \times R\ (x,y,t) \quad (7)$$

або

$$I(x,y,t) = D(x,y,t) \times D(x,y,t) \quad (8)$$

У такій формі інформація відтворюється в блоці $ПР_1$ та $САК_2$ після оброблення й надходить до системи технічного зору, представленої на рисунку 2.

До складу технічного зору входять три відеокамери B_1, B_2, B_3, які встановлені в трьох взаємоперпендикулярних площинах. Це дає можливість операторам ($АРМ_1$, $АРМ_2$) одержувати трьохвимірне зображення обладнання технологічної лінії з виробництва хліба.

Крім цього до інформаційної шини GS_1 підключено систему датчиків $Д_1$, $Д_2$, … $Д_{13}$, $Д_{14}$ та положення виконавчих механізмів (ВМ) витрат води, розчинів солі, цукру, олії, положення діжі в просторі, діжі тістомісильної машини, камери вистоювання та камери випікання тунельної печі.

Для цих цілей також можна використовувати тактильні датчики LTS-300, які забезпечують отримання інформації в $САК_3$ про положення ВМ та діжі.

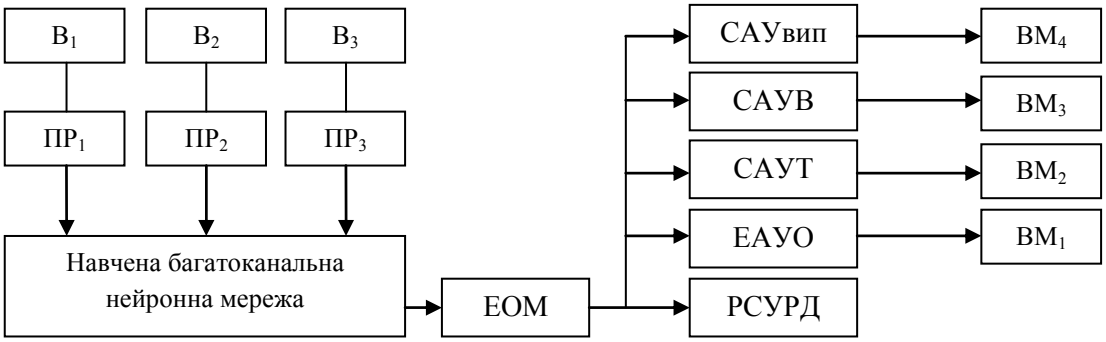


Рисунок 2. Система візуалізації (технічного зору) комплексу з виробництва хліба

Формування траєкторії переміщення діжі виконує робототехнологічна система управління руху діжі (РСУРД) за інформацією датчиків $Д_{14}$, системи візуалізації (СВ) та датчика запаху TGS2620 (Tagushi Gas Sensor).

Діалогова система управління рухом діжі діє таким чином. Спочатку формується структура повідомлення, яка визначає синтаксис мовлення, вона представлена у вигляді стандартного фрейму: (< (1) назва операції >, < (2) об'єкт операції >, < (3) місце розташування обладнання >, < (4) образ дії >). В комплексі використовують репліку типу: (< (1) зверни >, < (2) праворуч >). Назва операції ініціалізує структуру фрейму відповідної операції. Крім цього розроблені словарі імен операцій, синонімів виду: «поставити», «розмістити», «перемістити», які дають змогу РСУРД вибрати оптимальну траєкторію руху.

Метою синтаксичного розбору є створення стандартних команд, тобто виконання слотів фрейму команди. Для цього побудовано діалогову систему виконання операцій переміщення діжі з готовою опарою. При цьому робототехнологічний комплекс з РСУРД має розширену сенсорну систему, яка реагує на запах опари та якість шматків хліба.

Для оцінки параметрів опари, тіста розроблена система автоматизованого контролю ($САК_1$) газоутворюючої здатності борошна, густини, вологості, кислотності опари. На рисунку 3 наведено схему трьохканального аналізатора параметрів опари/тіста.

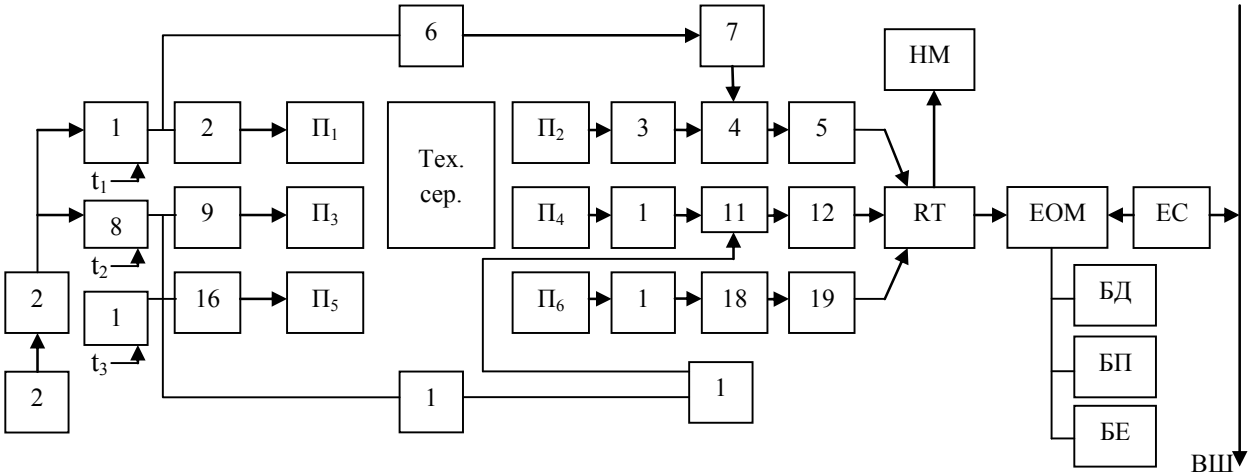


Рисунок 3. Трьохканальний аналізатор параметрів опари тіста
$П_1$ – випромінювач першого каналу, 1 – задавач генератора першого каналу, 2 – підсилювач потужності першого каналу, $П_2$ – приймач першого каналу, 3 – підсилювач першого каналу, 4 – селектор, 5 – логарифмічний перетворювач, 6 – лінія затримки, 7 – формувач часових інтервалів, 8 – задавач генератора другого каналу, 9 – підсилювач другого каналу, $П_3$ – випромінювач другого каналу, 10 – підсилювач, 11 – селектор, 12 – логарифмічний перетворювач, 13 – лінія затримки, 14 – формувач часових інтервалів, 15 – задавач генератора третього каналу, 16 – підсилювач третього каналу, 17 – підсилювач вихідного сигналу, 18 – селектор, 19 – логарифмічний перетворювач, 20 – комутатор, 21 – мультівібратор, t_1-t_3 – час роботи задавачів генераторів першого, другого й третього каналів, БД – база даних, БП - база правил, БЕ – база еталонів.

З метою оцінки ефективності процесу диспергування дріжджів з борошном та обчислення вмісту твердих частинок δ середовища «рідина-тверді частинки» а також для визначення густини опари авторами статті запропоновано трьохканальну систему ультразвукового контролю цих параметрів. В системі контролю параметрів диспергування дріжджів використано: високу частоту f_1, низьку частоту f_2 й частоту f_3 для оцінки концентрації газових бульбашок у середовищі опара/тісто.

Спочатку ЕОМ визначає $tg\beta_1$ – тангенс куту нахилу β_1 – логарифмічної амплітудно-частотної характеристики затухання ультразвукових коливань в підсистемі рідина-дріджі-борошно-газові бульбашки.

$$tg\ \beta_1 = (ln\alpha_1 - ln\alpha_2 + tg\beta_2(ln\ f_2 - ln\ f_1))/(ln\ f_2 - ln\ f_1), \quad (9)$$

де α_1 – коефіцієнт затухання ультразвукових коливань низької частоти f_2 в суспензії борошно-дріжджі;

α_2 – коефіцієнт затухання ультразвукових коливань високої частоти f_1 суспензії борошно-дріжджі;

β_1 – кут нахилу логарифмічної амплітудно-частотної характеристики затухання ультразвукових коливань в дегазованій (еталонній) рідині δ.

З вихідних перетворювачів $П_2$ та $П_4$ сигнали надходять до логарифмічних перетворювачів, за допомогою яких визначаються $ln\ \alpha_1$ й $ln\ \alpha_2$.

Після обчислення різниці цих величин ЕОМ, в БП, до якої занесені значення логарифмів частот, на яких виконується вимірювання затухання ультразвукових коливань в системі опара-тісто а також логарифмів коефіцієнтів затухання й логарифмів частот, на яких виконувались еталонні вимірювання, порівнює інформацію з базою еталонів (БЕ).

ЕОМ за значеннями затухання ультразвукових коливань в дегазованій рідині на визначених частотах будує логарифмічно-частотну характеристику затухання ультразвукових коливань в еталонній рідині, та визначає $tg\ \beta_2$.

Після чого ЕОМ виконує операцію множення (значення $tg\ \beta_2$ на різницю логарифмів частот f_1 й f_2). Після деяких операцій ЕОМ обчислює величину δ, яка опосередковано буде відповідати густині опари:

$$\delta = ln\ \alpha_1 - ln\ \alpha_2 \times K\ tg\ \beta_1, \quad (10)$$

де K_1 – масштабуючий коефіцієнт.

Однорідність опари за її реологічними властивостями оцінює ЕС за інформацією датчиків $Д_1$-$Д_{14}$, $П_1$-$П_2$, $П_3$-$П_4$, $П_5$-$П_6$ та НМ. При цьому ЕОМ за допомогою блоку корекції та інформації з датчиків $П_3$-$П_6$ (третій канал аналізатора), адаптує характеристики впливу ультразвукових коливань (потужність, частота, час впливу) робототехнологічних інтенсифікаторів $РУЗК_1$, $РУЗК_2$, $РУЗК_3$ на технологічне середовище та системи адаптивного управління САУО, САУТ, САУВ, САУвип (блок корекції (БК) та чинники впливу $К_1$-$К_5$).

Системи адаптивного управління спроектовані на базі SCADA-систем SIMATIC $STEP_{7,}$ в яких використані фазифікатор, дефазифікатор та блоки логічного виводу. Основи роботи таких систем детально розглянуто в монографії [12], а їх впровадження [2] в хлібопекарному виробництві дає достатньо високі результати щодо якості продукції.

Таким чином, в статті запропоновано інноваційний підхід щодо проектування робототехнологічного комплексу з виробництва хліба для споживачів, які мешкають на території з техногенним тиском. В запропонованих розробках робототехнологічні інтенсифікатори покращують якісні характеристики хліба за рахунок ультразвукових кавітаційних впливів на воду, розчини, олію, опару та тісто, а також на інші поліпшувачі продукції.

Розроблено підхід з використанням експертних систем, інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, діалогової системи управління портфелем замовлень, нейромережевих систем оцінки якості, що в комплексі дозволяє гнучко реагувати на запити споживачів щодо екологічно безпечної продукції на територіях з високим рівнем забруднення навколишнього середовища.

Висновки

Обґрунтовано технологічну парадигму виробництва хліба з інтелектуальним управлінням й робототехнологічним комплексом підготовки борошна, води, дріжджів, опари та тіста, вистоювання та випікання хліба для людей, що мешкають на територіях, де має місце техногенне забруднення навколишнього середовища. Доведено, що для одержання високоякісної інноваційної продукції з лікувально-профілактичними характеристиками, необхідно корегувати параметри води, розчинів солі, цукру, олії та інших компонентів, використовуючи технології ультразвукової кавітації для інтенсифікації процесів й ультразвукового контролю параметрів густини опари та тіста, концентрації бульбашок та однорідності опари і тіста з метою управління якістю процесу.

Розроблено багаторівневу інтелектуальну систему управління робототехнологічним комплексом виробництва хліба, в якому планування траєкторії керування операціями виконують:

- експертна система;
- інтелектуальна система підтримки прийняття рішень;
- діалогова система управління портфелем замовлень;
- адаптивні системи управління стадіями підготовки опари, тіста, вистоювання та випікання хліба, руху діжі та керування робототехнологічними інтенсифікаторами підготовки розчинів солі, цукру, олії та інших інгредієнтів, у тому числі лікувально-профілактичного призначення.

Таким чином, нейромережева система оцінки якості виробництва хліба за стадіями й робототехнологічні інтенсифікатори з ультразвуковими кавітаційним впливом та комплексними системами візуалізації процесу виробництва дозволять виробляти хлібобулочну продукцію з підвищеною харчовою та біологічною цінністю на більш високому рівні, ніж існуючі традиційні системи.

Література

1. Возняк А.В. Роботехнологічні комплекси в процесах виробництва хліба для регіонів с техногенним тиском / А.В. Возняк, Ю.М. Коренець, В.П. Хорольський // Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності : друга міжнародна науково-практична конференція, 5-7 вересня 2017 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. Г. В. Дейниченка. – Харків : ХДУХТ, 2017. – С. 32-33.

2. Федотова Т. В. Підвищення конкурентоспроможності підприємств хлібопекарської галузі : дис. … канд. екон. наук / Т. В. Федорова. – Житомир, 2015. – 204 с.

3. Хорольський В. П. Інтелектуальна система управління та моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання хлібобулочних заводів / В. П. Хорольський, Д. Ю. Клюєв, С. М. Коржов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2016 – №6 – С.55-62.

4. Остриков А. Н. Процессы и аппараты пищевых производств / [А. Н. Остриков, О. В. Абрамов, А. В. Логинов и др.] ; под ред. А. Н. Острикова. – СПб. : ГИОРД, 2012. – 616 с.

5. Хроменков В. М. Технологическое оборудование хлебозаводов и макаронных фабрик / В. М. Хроменков. – СПб. : ГИОРД, 2014 – 496 с.

6. Шаруда С. С. Інтелектуальна система сценарного управління хлібопекарським виробництвом / С. С. Шаруда, В. Д. Кишенько // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. - №5/3 (47). – С. 66-70.

7. Асенова Б. К. Технология производства функциональных продуктов питания для экологически неблагоприятных регионов / Б. К. Асенова, К. Ж. Амирханов, М. Б. Ребезов // Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-производства. 2013 – №1 – С. 313-316.

8. Пташек М. Цифровое телевиденье. Теория и техника | пер. с чешск. под. ред.. Л.С. Виленчика. – М: Радио и свіязь, 1990-528с.

9. Капустин С. В. Применение ультразвуковой кавитации в пищевой промышленности / С. В. Капустин, О. Н. Красуля // Интерактивная наука. – 2016 – №2 – С. 101-103.

10. Шестаков С. Д. Основы технологи кавитационной дезинтеграции / С. Д. Шестаков. – СПб : Нева-Пресс, 2001, 173 с.

11. Лайцянский Л.Г., Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1970. – Изд. 3-е, перерат. и дополн. – 904 с.

12. Інтегроване інтелектуальне управління технологічними процесами в економічних системах корпоративних підприємств гірничо-металургійного комплексу : монографія / [В. П. Хорольський, В. Б. Хоцкіна, Т. В. Хорольска, Є. К. Бабець] ; за. наук. ред. В. П. Хорольського. – Дніпропетровськ: «Січ», 2008. – 443 с.

References

1. Voznjak A.V. Robotehnologichni kompleksi v procesah virobnictva hliba dlja regioniv s tehnogennim tiskom / A.V. Voznjak, Ju.M. Korenec', V.P. Horol's'kij // Innovacijni aspekti rozvitku obladnannja harchovoї i gotel'noї industriї v umovah suchasnosti : druga mizhnarodna naukovo-praktichna konferencija, 5-7 veresnja 2017 r. : [materiali konferencії] / pid zag. red. G. V. Dejnichenka. – Harkiv : HDUHT, 2017. – S. 32-33.

2. Fedotova T. V. Pidvishhennja konkurentospromozhnosti pidpriємstv hlibopekars'koї galuzi : dis. … kand. ekon. nauk / T. V. Fedorova. – Zhitomir, 2015. – 204 s.

3. Horol's'kij V. P. Intelektual'na sistema upravlinnja ta monitoringu robochih harakteristik tehnologichnogo obladnannja hlibobulochnih zavodiv / V. P. Horol's'kij, D. Ju. Kljuєv, S. M. Korzhov // Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. Tehnichni nauki. 2016 – №6 – S.55-62.

4. Ostrikov A. N. Processy i apparaty pishhevyh proizvodstv / [A. N. Ostrikov, O. V. Abramov, A. V. Loginov i dr.] ; pod red. A. N. Ostrikova. – SPb. : GIORD, 2012. – 616 s.

5. Hromenkov V. M. Tehnologicheskoe oborudovanie hlebozavodov i makaronnyh fabrik / V. M. Hromenkov. – SPb. : GIORD, 2014 – 496 s.

6. Sharuda S. S. Intelektual'na sistema scenarnogo upravlinnja hlibopekars'kim virobnictvom / S. S. Sharuda, V. D. Kishen'ko // Shidno-Єvropejs'kij zhurnal peredovih tehnologij. – 2010. - №5/3 (47). – S. 66-70.

7. Asenova B. K. Tehnologija proizvodstva funkcional'nyh produktov pitanija dlja jekologicheski neblagoprijatnyh regionov / B. K. Asenova, K. Zh. Amirhanov, M. B. Rebezov // Torgovo-jekonomicheskie problemy regional'nogo biznes-proizvodstva. 2013 – №1 – S. 313-316.

8. Ptashek M. Cifrovoe televiden'e. Teorija i tehnika | per. s cheshsk. pod. red.. L.S. Vilenchika. – M: Radio i svijaz', 1990-528s.

9. Kapustin S. V. Primenenie ul'trazvukovoj kavitacii v pishhevoj promyshlennosti / S. V. Kapustin, O. N. Krasulja // Interaktivnaja nauka. – 2016 – №2 – S. 101-103.

10. Shestakov S. D. Osnovy tehnologi kavitacionnoj dezintegracii / S. D. Shestakov. – SPb : Neva-Press, 2001, 173 s.

11. Lajcjanskij L.G., Mehanika zhidkosti i gaza. – M.: Nauka, 1970. – Izd. 3-e, pererat. i dopoln. – 904 s.

12. Integrovane intelektual'ne upravlinnja tehnologichnimi procesami v ekonomichnih sistemah korporativnih pidpriємstv girnicho-metalurgijnogo kompleksu : monografija / [V. P. Horol's'kij, V. B. Hockina, T. V. Horol'ska, Є. K. Babec'] ; za. nauk. red. V. P. Horol's'kogo. – Dnipropetrovs'k: «Sich», 2008. – 443 s.

Рецензія/Peer review : 29.11.2017 р. Надрукована/Printed :10.02.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. О.С. Зеленський

УДК624:620.19

И.Б. КОРНЕЕВА, Н.Г. СУРЬЯНИНОВ, А.С. ШИЛЯЕВ
Одесская государственная академия строительства и архитектуры

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ ИЗ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА

Предложена конструкция плиты перекрытия с пятью пустотами, выполненная с комбинированным армированием стержневой арматурой и стальной фиброй. Выполнен сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния плиты предлагаемой конструкции и серийной пустотной железобетонной плиты с шестью пустотами. Моделирование плит и расчеты проведены в двух программных комплексах — ANSYS и SCAD — для двух вариантов закрепления — свободное опирание по двум коротким сторонам и жесткое закрепление по всему контуру. Результаты расчетов показали, что напряженно-деформированное состояние обеих плит характеризуется близкими значениями прогибов и напряжений с несколько меньшими их величинами у плиты предложенной конструкции.

Ключевые слова: плита перекрытия, фибробетон, бетон, напряжение, прогиб, ANSYS, SCAD.

I.B. KORNEEVA, N.G. SURYANINOV, O.S. SHYLIAIEV
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

PROGRAM IMPLEMENTATION OF OPTIMIZATION CALCULATION OF PLANE FARMS

The construction of the slab with five voids, made with combined reinforcement by bar reinforcement and steel fiber is proposed. Experimental studies of fiber-reinforced concrete samples have been carried out to determine the optimal composition of the fiber-reinforced concrete mixture from which the plate will be made and the elastic characteristics of the material necessary for computer simulation and subsequent calculations. The required percentage of fiber reinforcement and the size of the coarse aggregate fraction have been established. A comparative analysis of the stress-strain state of the plate of the proposed design and a series of hollow reinforced concrete slabs with six voids is performed. Simulation of plates and calculations were carried out in two software complexes — ANSYS and SCAD. For each plate, two variants of the boundary conditions are considered: free support on two short sides of the plate and rigid fastening of these sides; while the long sides of the plate do not have connections. The results of calculations showed that the stress-strain state of both plates is characterized by close values of deflections and stresses with slightly smaller values near the plate of the proposed design. Analysis of the results allows us to conclude that, with respect to the constructions under consideration, finite-element calculations in two software complexes (ANSYS and SCAD) lead to almost identical results: the maximum error was 4,2 %. In all cases, the stresses and deflections defined in ANSYS are less than in SCAD. This, apparently, can be explained by different approaches to modeling, different types of finite elements, and computational algorithms embedded in these programs. Comparison of stresses and deflections at the equally located points of the steel-fiber-concrete and reinforced concrete slab shows that in the first of these the indicated values are smaller, although insignificantly, than in the second. So, with the free support of the plate on two short sides, the maximum stresses in the steel-fiber-concrete plate are 1,02 times less, and the deflections are 1,18 times.

Key words: slab, fiber concrete, concrete, tension, deflection, ANSYS, SCAD.

Введение. В последние годы все большее применение в строительной отрасли находят фибробетоны, представляющие собой бетонную смесь, дисперсно армированную фиброй, которая отличается разной геометрией и видом материала, из которого изготовлена. Каждый вид фибры обладает своими преимуществами и недостатками, определяющими наиболее предпочтительную область ее применения. Введение в бетон стальной фибры обеспечивает значительное повышение его механических и прочностных характеристик — увеличивается прочность при сжатии и прочность на растяжение при изгибе, сопротивление температурному воздействию и истиранию, повышается морозостойкость и трещиностойкость и др. Многочисленные исследования показывают, что в несущих конструкциях эффективным является применение стальной фибры [1 – 3]. Однако объем таких исследований явно недостаточен, что сдерживает практическое использование сталефибробетонных конструкций. Кроме того, введение стальной фибры в бетонную смесь приводит к необходимости изменения некоторых привычных конструктивных форм, которые традиционно используются при изготовлении обычных железобетонных конструкций. Это в полной мере относится к пустотным плитам перекрытия.

Постановка проблемы. На сегодняшний день применение в промышленном и гражданском строительстве железобетонных многопустотных плит перекрытия [4, 5] носит массовый характер. Такие плиты существенно легче полнотелых, и имеют целый ряд других преимуществ. Для повышения прочности при производстве пустотных плит их армируют предварительно напряженной стержневой арматурой, а изготавливают из высококачественного тяжелого бетона. Представляется, что улучшения физико-механических, прочностных и деформационных свойств многопустотных плит при одновременном снижении их себестоимости можно добиться за счет применения фибробетона и связанного с этим уменьшения объема стержневой арматуры.

Для обоснования этого утверждения необходимо провести экспериментальные исследования новой конструкции плиты, определить напряжения, деформации, момент начала трещинообразования, разрушающую нагрузку. Чтобы определить места установки тензодатчиков для определения напряжений и индикаторов для определения перемещений, необходимо знать характер распределения этих параметров при действии внешней нагрузки. Поэтому **целью** данной работы является компьютерное моделирование многопустотной плиты предложенной конструкции с комбинированным армированием стержневой

арматурой и стальной фиброй с последующим исследованием ее напряженно-деформированного состояния при разных граничных условиях.

Материалы и методы. Для определения оптимального состава фибробетонной смеси, из которой будет изготовлена плита и упругих характеристик материала, необходимых для компьютерного моделирования и последующих расчетов предварительно были проведены испытания образцов фибробетона. Определялась кубиковая прочность на образцах 100х100х100 мм и призменная прочность на образцах 100х100х400 мм. При этом варьировался процент дисперсного армирования, который составлял 0,5 %, 1,0 % и 1,5 %, а также размер фракции крупного заполнителя (щебень) — с размером фракции $\leq$ 10 мм в одной серии испытаний и $\leq$ 20 мм — во второй. Одновременно определялась кубиковая и призменная прочность обычного бетона при тех же размерах крупного заполнителя.

Обработка результатов показала, что оптимальными характеристиками сталефибробетонной смеси является матрица с крупным заполнителем $\leq$ 10 мм при 1,0% фиброво армирования.

Во всех проведенных опытах использовался цемент марки 400 и промытый речной песок. Водоцементное отношение — 0,449.

Для дисперсного армирования использовалась фибра с загнутыми концами, изготовленная из высокопрочной проволоки с временным сопротивлением 1335 МПа.

В результате испытаний определены упругие характеристики материала плиты: модуль упругости — $E = 2 \cdot 10^4 \, МПа$ и коэффициент Пуассона — $\mu = 0,2$.

При моделировании плиты в программе ANSYS был использован метод экструзии, который заключается в выдавливании объема плиты из первоначально построенного поперечного сечения вдоль нормали.

Комплекс SCAD такими возможностями для моделирования не обладает, поэтому здесь пустотная плита была приведена к сплошной плите с уменьшением ее исходной толщины.

Результаты исследований. Сортамент многопустотных плит весьма обширен. Пустоты выполняются разного очертания, но чаще всего — круглого. При этом промышленностью выпускаются шестипустотные плиты. Однако при использовании фибробетона, армированного стальной фиброй, пространства между пустотами достаточно малы, что не позволяет добиться равномерного распределения фибры по объему и качественного уплотнения бетонной смеси. В этой связи авторами предложена конструкция плиты с пятью пустотами, аналогичная конструкции серийной шестипустотной плиты. В качестве такого аналога выбрана плита ПК30.12-8 серии 1.141-1 (рис. 1).

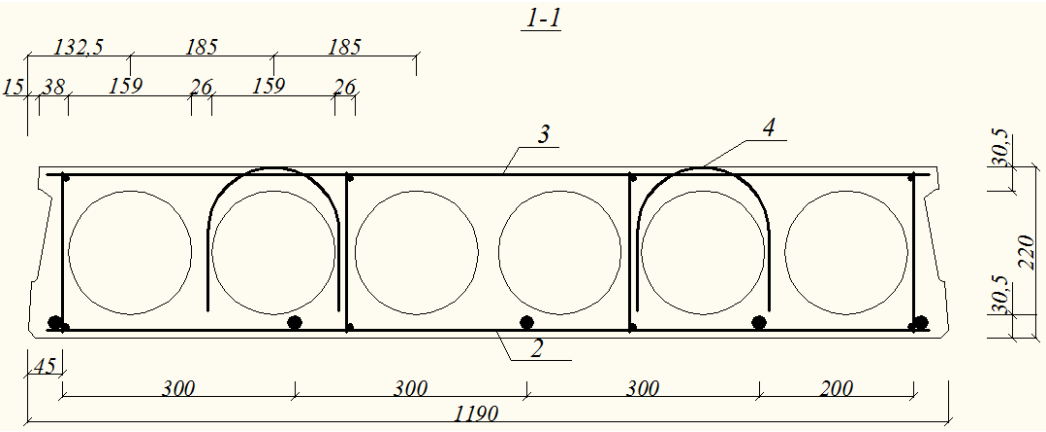


Рис. 1. Серийная плита с шестью пустотами из бетона

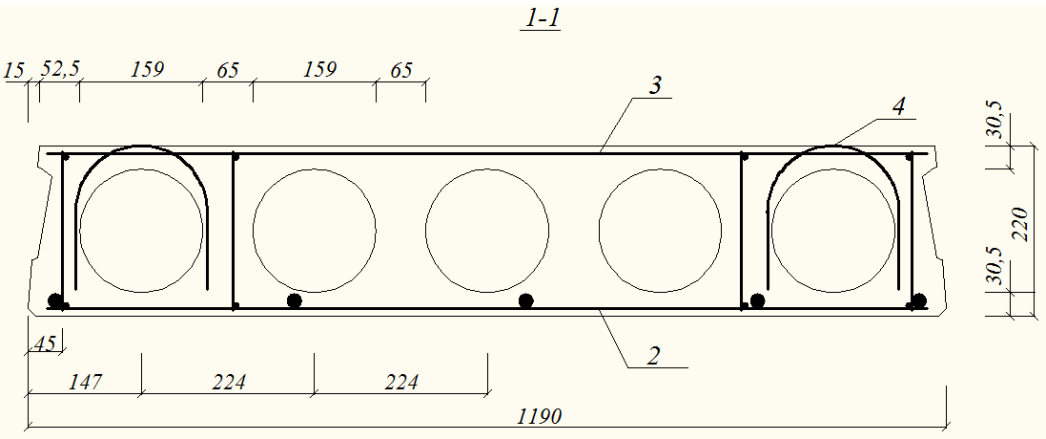


Рис. 2. Плита из фибробетона с пятью пустотами

Проектирование пятипустотной плиты из фибробетона выполнено на основе требований ДСТУ-Н Б

В.2.6-78: 2009 [6] и ДСТУ Б В.2.6-2: 2009 [7]. Сочетание нагрузок на плиту принято в соответствии с ДБН В.1.2-2: 2006 [8].

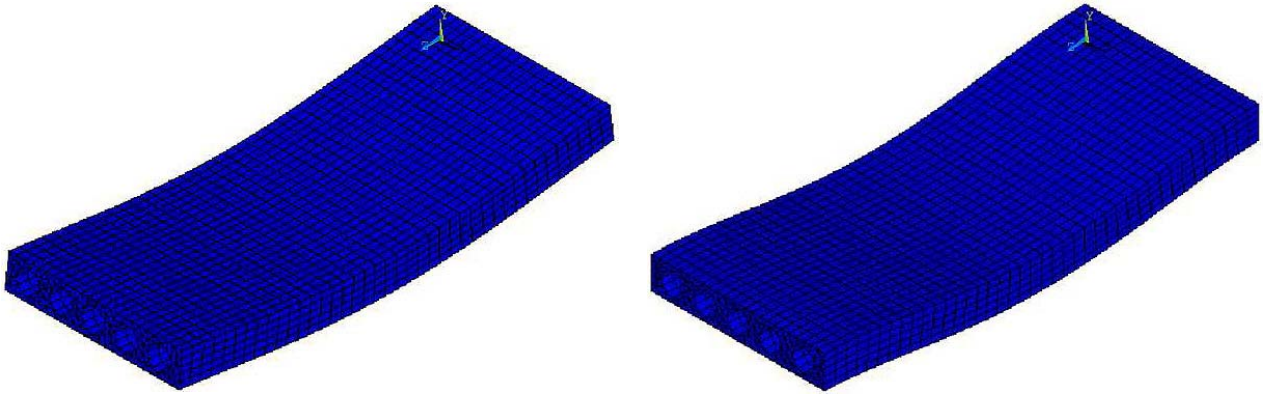
Обе плиты — серийная (рис. 1) и пятипустотная (рис. 2) — подвергнуты компьютерным и экспериментальным исследованиям. Здесь рассмотрим только результаты компьютерных исследований, выполненных в двух программных комплексах — ANSYS [9] и SCAD [10].

При моделировании приняты следующие исходные данные, одинаковые для обеих плит: длина — $l = 3м$; ширина — $b = 1{,}19м$; толщина — $h = 0{,}22м$; упругие характеристики ("размазанные" по объему): модуль упругости — $E = 2{,}4 \cdot 10^4 МПа$; коэффициент Пуассона — $\mu = 0{,}2$.

Нагрузка — равномерно распределенная по всей поверхности плиты, интенсивностью $q = 10 кН / м^2$.

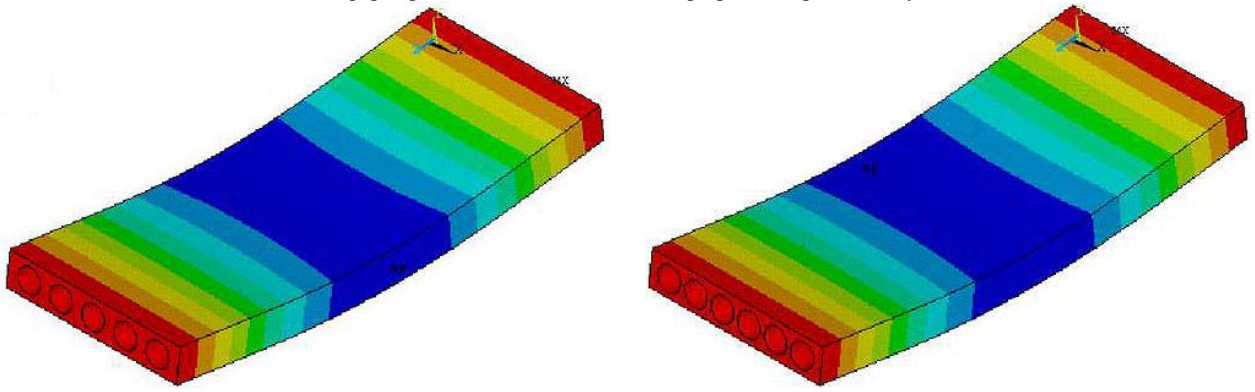
Для каждой плиты рассмотрены два варианта граничных условий — свободное опирание по двум коротким сторонам плиты (далее — вариант I) и жесткое закрепление этих сторон (вариант II). При этом длинные стороны плиты связей не имеют.

На рис. 3 представлено деформированное состояние фибробетонной плиты при двух вариантах граничных условий, на рис. 4 — прогибы, а на рис. 5 — эквивалентные напряжения по гипотезе Губера – Мизеса для фибробетонной пятипустотной и бетонной шестипустотной плит при разных граничных условиях.

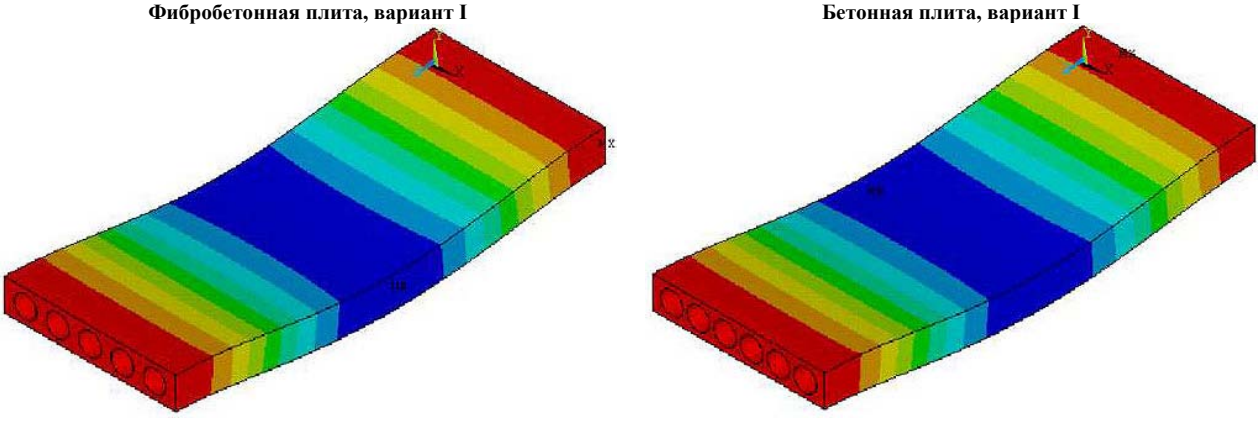


Вариант I **Вариант II**

Рис. 3. Деформированное состояние плиты при разных граничных условиях



Фибробетонная плита, вариант I **Бетонная плита, вариант I**



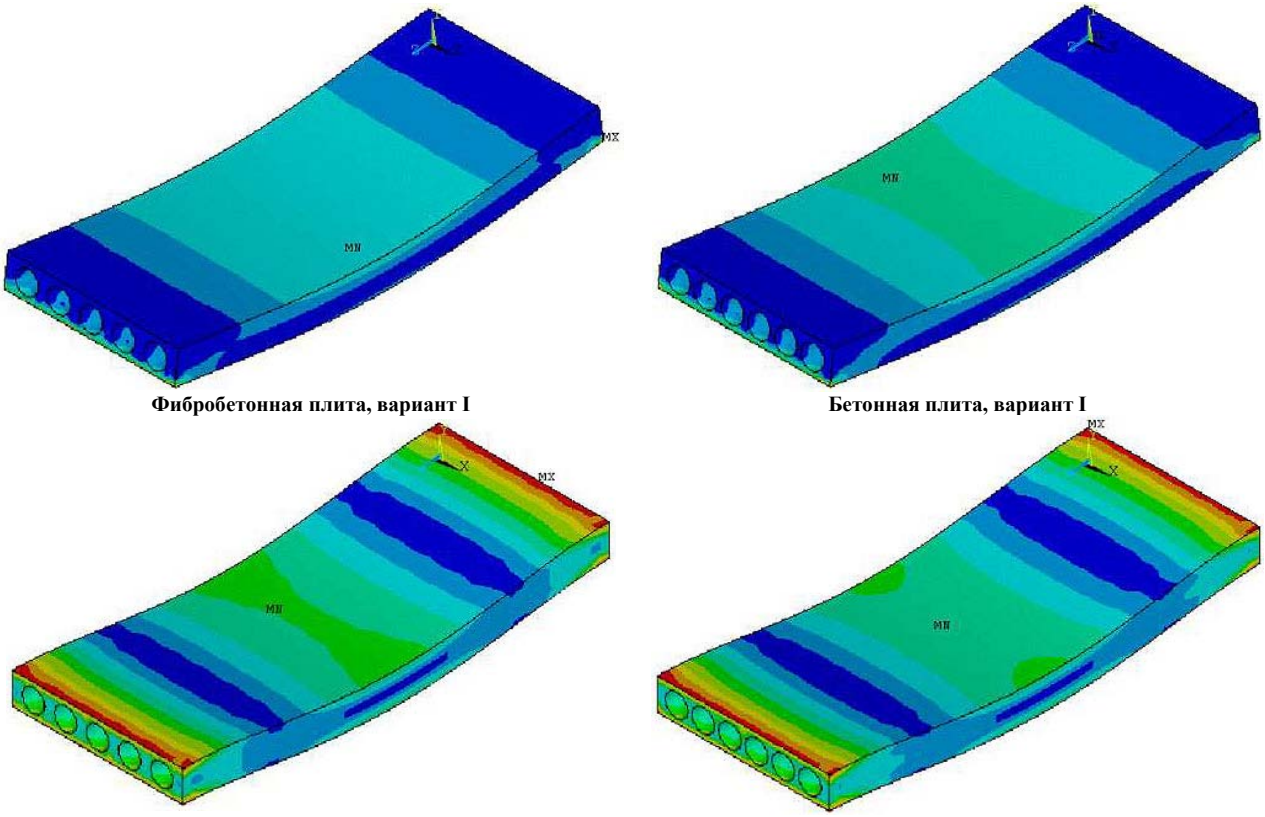
Фибробетонная плита, вариант II **Бетонная плита, вариант II**

Рис. 4. Прогибы

Визуализация результатов, полученных в результате аналогичных расчетов в комплексе SCAD,

имеет похожий характер, поэтому здесь не приводится.

Контрольные точки для анализа численных значений прогибов и напряжений показаны на рис. 6. Симметрично расположенные точки, в которых прогибы и напряжения теоретически должны быть одинаковыми, выбраны с целью дополнительной верификации полученных результатов.



Фибробетонная плита, вариант I **Бетонная плита, вариант I**

Фибробетонная плита, вариант II **Бетонная плита, вариант II**

Рис. 5. Эквивалентные напряжения

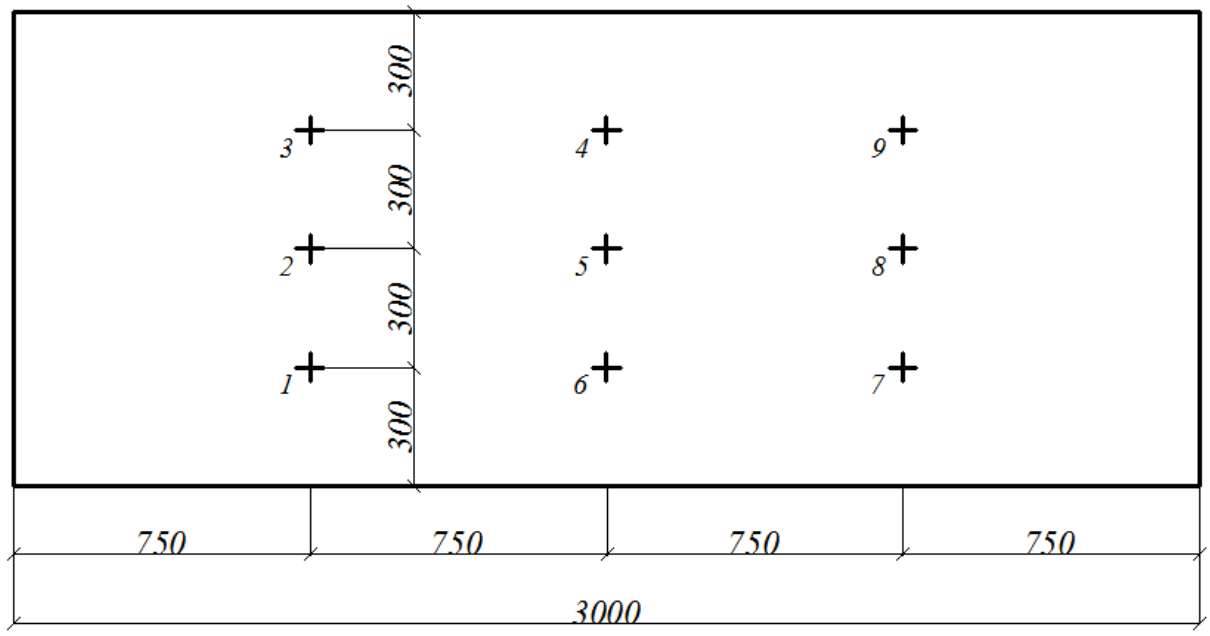


Рис. 6. Контрольные точки

Обсуждение и сравнение результатов. Числовые значения прогибов и напряжений в контрольных точках, полученные в двух программных комплексах, приведены в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1

Прогибы и напряжения в пятипустотной плите, вариант I

Параметр НДС	Пакет	Контрольные точки					
		1; 7	2; 8	3; 9	4	5	6
Прогибы, мм	ANSYS	0,199	0,198	0,199	0,295	0,293	0,295
	SCAD	0,203	0,202	0,203	0,301	0,299	0,301
	Погр., %	1,97	1,48	1,97	1,99	2,01	1,99
Напряжения, кПа	ANSYS	174,47	151,96	173,00	530,87	522,76	532,14
	SCAD	178,49	155,79	178,11	540,44	529,81	541,65
	Погр., %	2,25	2,46	2,87	1,77	1,33	1,76

Таблица 2

Прогибы и напряжения в пятипустотной плите, вариант II

Параметр НДС	Пакет	Контрольные точки					
		1; 7	2; 8	3; 9	4	5	6
Прогибы, мм	ANSYS	0,0760	0,0758	0,0761	0,131	0,130	0,131
	SCAD	0,0791	0,0788	0,0790	0,135	0,134	0,136
	Погр., %	3,92	3,81	3,67	2,96	2,99	3,67
Напряжения, кПа	ANSYS	134,68	119,69	134,72	490,88	481,68	490,61
	SCAD	139,82	124,77	139,88	512,36	500,06	512,11
	Погр., %	3,68	4,07	3,69	4,19	3,68	4,20

Таблица 3

Прогибы и напряжения в шестипустотной плите, вариант I

Параметр НДС	Пакет	Контрольные точки					
		1; 7	2; 8	3; 9	4	5	6
Прогибы, мм	ANSYS	0,236	0,235	0,236	0,349	0,347	0,349
	SCAD	0,241	0,239	0,241	0,357	0,354	0,356
	Погр., %	2,07	1,67	2,07	2,24	1,98	1,97
Напряжения, кПа	ANSYS	168,71	155,03	168,98	541,74	532,56	541,61
	SCAD	174,14	159,11	174,85	558,71	549,18	558,69
	Погр., %	3,12	2,56	3,36	3,04	3,03	3,06

Таблица 4

Прогибы и напряжения в шестипустотной плите, вариант II

Параметр НДС	Пакет	Контрольные точки					
		1; 7	2; 8	3; 9	4	5	6
Прогибы, мм	ANSYS	0,0903	0,0903	0,0903	0,154	0,153	0,153
	SCAD	0,0937	0,0934	0,0935	0,160	0,158	0,159
	Погр., %	3,63	3,32	3,42	3,75	3,16	3,77
Напряжения, кПа	ANSYS	131,53	130,51	131,65	504,54	497,98	504,43
	SCAD	135,88	135,11	135,89	520,23	515,77	520,21
	Погр., %	3,20	3,40	3,12	3,02	3,45	3,03

Выводы. Анализ результатов, приведенных в табл. 1–4, позволяет сделать вывод о том, что применительно к рассматриваемым конструкциям конечно-элементные расчеты в двух программных комплексах (ANSYS и SCAD) приводят к практически одинаковым результатам: максимальная погрешность составила 4,2 %. При этом во всех случаях напряжения и прогибы, определенные в ANSYS, меньше, чем в SCAD. Это, по-видимому, можно объяснить разными подходами к моделированию, разными типами конечных элементов и заложенными в этих программах вычислительными алгоритмами.

Сравнение напряжений и прогибов в одинаково расположенных точках сталефибробетонной и железобетонной плиты показывает, что в первой из них указанные величины меньше, хотя и незначительно, чем во второй. Так, при свободном опирании плиты по двум коротким сторонам максимальные напряжения в сталефибробетонной плите меньше в 1,02 раза, а прогибы — в 1,18 раз.

Окончательная верификация результатов, полученных путем компьютерного моделирования и расчетов, будет выполнена путем экспериментальных исследований фибробетонной плиты предложенной конструкции.

Литература

1. Рабинович, Ф. Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции : монография / Ф. Н. Рабинович. – М. : Изд-во АСВ, 2004. – 560 с.

2. Талантова К.В. Сталефибробетон с заданными свойствами и строительные конструкции на его основе : дисс. … д-ра. техн. наук / К.В. Талантова. – Барнаул, 2013. – 287 с.

3. Смирнов Д.А. Упругость и ползучесть сталефибробетона : автореф. дисс. … канд. техн. наук / Д. А. Смирнов. – СПб, 2011. – 20 с.

4. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 73 с.

5. ДСТУ Б В.2-6-53:2008. Плити перекриттів залізобетонні багатопустотні для будівель і споруд. Технічні умови. – К. : Мінрегіонбуд України, 2008. – 39 с.

6. ДСТУ-Н Б В.2.6-78:2009. Конструкції будинків і споруд. Настанова з проектування та виготовлення сталефібробетонних конструкцій. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 46 с.

7. ДСТУ Б В.2.6-2:2009. Конструкції будинків і споруд. Вироби бетонні і залізобетонні. Загальні технічні умови. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 29 с.

8. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К. : Мінбуд України, 2006. – 77 с.

9. Дащенко А.Ф. ANSYS в задачах инженерной механики / А.Ф. Дащенко, Д.В. Лазарева, Н.Г. Сурьянинов / под ред. Н. Г. Сурьянинова. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Одесса : Пальмира, 2011. — 505 с.

10. Вычислительный комплекс SCAD / [Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А.]. – М. : Издательство АСВ, 2004. — 592 с.

References

1. Rabinovich, F. N. Kompozityi na osnove dispersno-armirovannyih betonov. Voprosyi teorii i proektirovaniya, tehnologiya, konstruktsii: monografiya / F. N. Rabinovich. – M.: Izd-vo ASV, 2004. – 560 s.

2. Talantova K.V. Stalefibrobeton s zadannyimi svoystvami i stroitelnyie konstruktsii na ego osnove: diss. … d-ra. tehn. nauk / K.V. Talantova. – Barnaul, 2013. – 287 s.

3. Smirnov D.A. Uprugost i polzuchest stalefibrobetona: avtoref. diss. … kand. tehn. nauk / D. A. Smirnov. – SPb., 2011. – 20 s.

4. DBN V.2.6-98:2009. BetonnI ta zalIzobetonnI konstruktsIYi. OsnovnI polozhennya. – K.: MInregIonbud UkraYini, 2011. – 73 s.

5. DSTU B V.2-6-53:2008. Pliti perekrittIv zalIzobetonnI bagatopustotnI dlya budIvel I sporud. TehnIchnI umovi. – K.: MInregIonbud UkraYini, 2008. – 39 s.

6. DSTU-N B V.2.6-78:2009. KonstruktsIYi budinkIv I sporud. Nastanova z proektuvannya ta vigotovlennya stalefIbrobetonnih konstruktsIy. – K.: MInregIonbud UkraYini, 2009. – 46 s.

7. DSTU B V.2.6-2:2009. KonstruktsIYi budinkIv I sporud. Virobi betonnI I zalIzobetonnI. ZagalnI tehnIchnI umovi. – K.: MInregIonbud UkraYini, 2010. – 29 s.

8. DBN V.1.2-2:2006. Sistema zabezpechennya nadIynostI ta bezpeki budIvelnih ob'EktIv. Navantazhennya I vplivi. Normi proektuvannya. – K.: MInbud UkraYini, 2006. – 77 s.

9. Daschenko A.F. ANSYS v zadachah inzhenernoy mehaniki / A.F. Daschenko, D.V. Lazareva, N.G. Suryaninov / Izd. 2-e, pererab. i dop. Pod red. N. G. Suryaninova. – Odessa. – Palmira. 2011. – 505 s.

10. Karpilovskiy V.S.. Kriksunov E.Z.. Malyarenko A.A.. Perelmuter A.V.. Perelmuter M.A. Vychislitelnyy kompleks SCAD: – M.: Izdatelstvo ASV. 2004. – 592 s.

Рецензія/Peer review : 05.11.2017 р. Надрукована/Printed :07.02.2018 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису http://vestnik.ho.com.ua/rules/

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету, протокол протокол № 10 від 30.01.2018 р.

Підп. до друку 05.02.2018 р. Ум.друк.арк. 36,81 Обл.-вид.арк. 39,31
Формат 30х42/4, папір офсетний. Друк різографією.
Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого
редакцією журналу "Вісник Хмельницького національного університету"
редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63