

ISSN 2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

4.2016

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки
Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2016, Issue 4, Volume 239

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, 2016, № 4 (239)

**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
Відповідальний секретар	Гуляєва В. О. , завідувач відділом інтелектуальної власності і трансферу технологій Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

Березненко М.П., д.т.н., 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., Камбург В.Г., д.т.н. (Росія), Каплун В.Г., д.т.н., Карван С.А., д.т.н., Карташов В.М., д.т.н., Кичак В.М., д.т.н., Кіницький Я.Т., д.т.н., Коновал В.П., д.т.н., Коробко Є.В., д.т.н. (Білорусія), Костогриз С.Г., д.т.н., Кофанов Ю.М., д.т.н. (Росія), Мазур М.П., д.т.н., Мандзюк І.А., 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., Пастух І.М., д.т.н., Поморова О.В., д.т.н., Пановко Г.Я., д.т.н. (Росія), Попов В., доктор природничих наук (Німеччина), Прохорова І.А., д.т.н., Рогатинський Р.М., д.т.н., Ройзман В.П., д.т.н., Рудницький В.Б., д.фіз.-мат.н., Сарібеков Г.С., д.т.н., Сілін Р.І., д.т.н., Славінська А.Л., д.т.н., Сорокати Р.В., д.т.н., Сурженко Є.Я., д.т.н. (Росія), Троцишин І.В., д.т.н., Шинкарук О.М., д.т.н., Шклярський В.І., д.т.н., Щербань Ю.Ю., д.т.н., Юрков М.К., д.т.н. (Росія), Ясній П.В., д.т.н.

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

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 9 від 31.3.2016 р.**

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

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

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

© Хмельницький національний університет, 2016
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2016

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ SOLIDWORKS MOTION ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ РЕЗУЛЬТАТІВ АНАЛІТИЧНО-ЧИСЛОВОГО СИНТЕЗУ ВАЖЛИВИХ МЕХАНІЗМІВ ІЗ ЗУПИНКОЮ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ	7
С.О. КОШЕЛЬ, Г.В. КОШЕЛЬ АНАЛІЗ ПЛОСКИХ МЕХАНІЗМІВ ВИЩИХ КЛАСІВ З РУХОМИМ ЗАМКНЕНИМ КОНТУРОМ	15
Р.В. АМБАРЦУМЯНЦЬ, С.А. РОМАШКЕВИЧ ДИНАМІКА СЕПАРАТОРА МЕХАНІЗМА СВОБОДНОГО ХОДА В СВОБОДНОМУ ДВИЖЕННІ	19
Т.Я. БІЛА, В.В. СТАЦЕНКО ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ЗМІШУВАЧА БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ	25
О.А. ПАСІЧНИК ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ТРИБОЛОГІЧНІЙ МЕТРОЛОГІЇ	28
Л.А. БІЛИЙ, Г.Я. ДУТКА МЕТОД АНАЛІЗУ СКЛАДНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ	32
Н.О. БАЛИЦЬКА, Л.Є. ГЛЕМБОЦЬКА ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТОРЦЕВИХ ФРЕЗ ДЛЯ ЧИСТОВОГО РІЗАННЯ	35
О.О. ЛАРІН ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ГУМО-КОРДНИХ ВИСОКОНАПІРНИХ МУФТ ТРУБОПРОВІДІВ	40
Э.С. АППАЗОВ, С.А. РУСАНОВ, О.И. КЛЮЕВ, А.С. КОСТЕРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОАККУМУЛЯТОРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НАЗЕМНОГО АВТОТРАНСПОРТА	47
Э.С. АППАЗОВ, С.А. РУСАНОВ, О.И. КЛЮЕВ, А.С. КОСТЕРНЫЙ ТЕПЛОАККУМУЛЯТОР ДЛЯ ПРЕДПУСКОВОГО РАЗОГРЕВА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	50
Л.М. ЗАМІХОВСЬКИЙ, Л.О. ШТАЄР, М.В. СМЕРЕК ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НЕОДНОРІДНОСТІ СТІНКИ ТРУБОПРОВІДУ НА ПАРАМЕТРИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ В АКУСТИЧНОМУ МЕТОДІ КОНТРОЛЮ ВИТОКІВ З ТРУБОПРОВІДІВ	54
І.М. ПАСТУХ, Г.М. СОКОЛОВА, В.М. ШУЛАЄВ, І.Ф. МИХАЙЛОВ, С.В. СУРОВИЦЬКИЙ ОСОБЛИВОСТІ АЗОТУВАННЯ СЕРЕДНЬОВУГЛЕЦЕВИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ В ТЛЮЧОМУ РОЗРЯДІ З НЕЗАЛЕЖНИМИ ПАРАМЕТРАМИ	61

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

О.А. ПАРАСКА, В.О. КОВАЛЬСЬКА, Т.С. РАК, О.К. ЧЕРВОНЮК ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНОГО АСОРТИМЕНТУ ВІТЧИЗНЯНИХ ТРИКОТАЖНИХ ВИРОБІВ	66
І.С. ГАЛИК, Б.Д. СЕМАК ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ БЕЗПЕЧНОСТІ НАНОТЕКСТИЛЮ І ОДЯГУ	71

О.І. ЛИТВИНОВА, Н.П. СУПРУН, С.Я. БРИЧКА, О.Б. БАЛКО РОЗРОБКА НЕТКАНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ ОСНОВ ДЛЯ РАНОВИХ ПОКРИТТІВ НА БАЗІ БАВОВНЯНИХ ВОЛОКОН З НАДАНИМИ БАКТЕРИЦИДНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ	78
О.М. ГУЩАК, Б.Д. СЕМАК ВПЛИВ РОСЛИННОГО БАРВНИКА І ПРОТРАВЛЮВАЧА НА БІОСТІЙКІСТЬ ПОФАРБОВАНОЇ РОСЛИННИМИ БАРВНИКАМИ ВОВНЯНОЇ ПЛАТТЯНОЇ ТКАНИНИ	82
О. В. КОНДРАТЮК, Е. Є. КАСЬЯН ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНИХ ПЛІВОК, МОДИФІКОВАНИХ ПОХІДНИМИ ЕКЗОПОЛІСАХАРИДІВ	89
А.В. НІКОНОВА, О.А. АНДРЕЄВА, Л.А. МАЙСТРЕНКО ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ КОЛАГЕНУ З ПОЛІМЕРНИМИ ТА ДУБІЛЬНИМИ СПОЛУКАМИ ТИТАНУ	95
Т.В. ХАРАНДЮК, Р.Б. КОСІВ, Н.І. БЕРЕЗОВСЬКА, Л.Я. ПАЛЯНИЦЯ РАСИ ДРІЗДЖІВ ДЛЯ ВИСОКОГУСТИННОГО ПИВОВАРІННЯ	100

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Ю.М. БОЙКО, О.І. СРЬОМЕНКО, М.В. КОРОТУН МЕХАНІЗМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОПТОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ	105
V. V. ROMANUK ADJUSTMENT OF A POSITIVE INTEGER PARAMETER UNKNOWN TO AN INTERVAL WITH CONSTANT BOUNDARIES BASED ON EXPERT ESTIMATIONS WHOSE AVERAGE-LIKE VALUE IS UPPER-LIMITED TO THE PARAMETER	116
В.І. МАРЧЕНКО ПРОДУКТИВНІСТЬ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ ТА АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ	124
А.О. НІЧЕПОРУК ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ МЕТАМОРФНИХ ВІРУСІВ В КОРПОРАТИВНІЙ МЕРЕЖІ	128
О.В. НЕЧИПОРЕНКО, Я.В. КОРПАНЬ БІОМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ І АВТЕНТИФІКАЦІЯ ОСОБИ ЗА ГЕОМЕТРІЄЮ ОБЛИЧЧЯ	133
І.Г. ЦМОЦЬ, С.П. СТЯМЕЦЬ, Д.Д. ЗЕРБІНО БАГАТОРІВНЕВА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ	139
О.О. ПЕТРОВА, Д.Л. АКСЬОНОВА ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА «ВИЗНАЧЕННЯ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ РИЗИКУ ВИРОБНИЧИХ ОБ'ЄКТІВ»	146
О.І. ЛАКТИОНОВ ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В СИСТЕМІ ОЦІНКИ РІВНЯ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНЦІЇ ПЕРСОНАЛУ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ	149
Ю.А. СМОЛИН ИНФОРМАЦИОННАЯ СТРУКТУРА И ПОТОКИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССАМИ ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА	153
В.В. БОРИК, Л.Й. МЕЖИЛОВСЬКА, Р.О. ДЗУМЕДЗЕЙ, Г.Д. МАТЕЙК ВИЗНАЧЕННЯ ВИСОТИ І ШВИДКОСТІ ХВИЛІ ПРОРИВУ ПІД ЧАС ГІДРОДИНАМІЧНИХ АВАРІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ СЕРЕДОВИЩА VBA В ЦИВІЛЬНОМУ ЗАХИСТІ	157

В.Д. КОСЕНКОВ, В.В. МАРТИНЮК

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ НАВАНТАЖЕННЯ В ІМПУЛЬСНОМУ РЕЖИМІ ВІД ДЖЕРЕЛА
ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ 160

О.І. ВОЛИНСЬКИЙ, П.В. ГУМЕННИЙ

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКІВ НА ОСНОВІ ЛІЧИЛЬНИКІВ У РІЗНИХ
ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВИХ БАЗИСАХ 164

К.Л. ГОРЯЩЕНКО, С.Л. ГОРЯЩЕНКО

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ОПОРНОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ФАЗОВИХ
ВИМІРЮВАНЬ. ЧАСТИНА 1 174

С.Н. БОЙКО, С.Я. ВИШНЕВСКИЙ, Д.А. МИХАЙЛИЧЕНКО

МОДЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ ГАРМОНІЧЕСКОГО СОСТАВА ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ОДНОФАЗНОГО ИНВЕРТОРА ПРИ РАЗНЫХ ЗАКОНАХ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ
МОДУЛЯЦИИ 177

А.А. ЯРЕМЕНКО, І.В. ТРОЦИШИН

МЕТОДИ БАГАТОСТАНЦІЙНОГО ДОСТУПУ 185

Н.І. УПРОВА, А.М. СЛІЗКОВ, Т.В. ХИЛЬКЕВИЧ, Т.Ф. ХАРЧЕНКО, А.М. СТРОЙ

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ ПЕСТИЦИДАМИ ПРОДУКЦІЇ ТЕКСТИЛЬНОЇ ТА
ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ 189

УДК 621.01

В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ
Хмельницький національний університет**ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ SOLIDWORKS MOTION ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ
РЕЗУЛЬТАТІВ АНАЛІТИЧНО-ЧИСЛОВОГО СИНТЕЗУ ВАЖІЛЬНИХ
МЕХАНІЗМІВ ІЗ ЗУПИНКОЮ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ**

В статті розглядається питання проектування важільних механізмів із періодичною зупинкою вихідної ланки, що побудовані на основі базового прямолінійно-напрямого шарнірного чотириланкового механізму з приєднаною групою II класу 5-го виду. Для синтезу таких механізмів можуть використовуватись методи кінематичної геометрії, зокрема такі особливі точки шатунної площини, як точки розпрямлення 5-го порядку та точки Чебишева 5-го порядку. Автором раніше розроблені аналітично-числові методи синтезу таких механізмів, а в даній роботі проведено їх дослідження за допомогою системи інженерного аналізу SOLIDWORKS Motion з метою підтвердження правильності розроблених методів та працездатності спроектованих механізмів. Наведено результати їх кінематичного дослідження у вигляді таблиць та діаграм.

Ключові слова: важільні механізми, механізми із зупинкою, SOLIDWORKS Motion, кінематичне дослідження, точки розпрямлення 5-го порядку, точки Чебишева 5-го порядку.

V.O. KHARZHEVSKIY
Khmelnytskyi National University**THE USAGE OF SOLIDWORKS MOTION FOR VERIFICATION OF THE RESULTS OF ANALYTICAL AND
NUMERICAL SYNTHESIS OF DWELL LINKAGE MECHANISMS**

The paper is dedicated to the designing of the dwell linkage mechanisms using the basic straight-line four-bar linkage with the additional structural group of the II class 5th type. For the synthesis of such mechanisms the methods of kinematic geometry can be used: in particular, such special points of the coupler plane as 5th order straightening points and 5th order Chebyshev's points. The analytical and numerical methods of synthesis of such mechanisms were developed by the author earlier, and in this article the verification of the results were carried out using SOLIDWORKS Motion with the goal to validate the developed methods and functionality of the designed mechanisms. The results of the kinematic analysis of mentioned mechanisms in the form of tables and diagrams are given.

Keywords: linkage mechanisms, dwell mechanisms, SOLIDWORKS Motion, kinematic analysis, 5th order straightening points, 5th order Chebyshev's points.

Проблема створення механізмів, що забезпечують рух вихідної ланки із періодичною зупинкою заданої тривалості та точності є досить актуальною в сучасному машинобудуванні, як вітчизняному, так і у зарубіжному, оскільки такі механізми широко використовуються при проектуванні сучасних машин, особливо машин-автоматів. Для цього, як відомо, можуть використовуватись різні типи механізмів, однак використання для цього саме важільних механізмів має ряд суттєвих переваг, зокрема завдяки наявності лише нижчих кінематичних пар такі механізми забезпечують більшу надійність, довговічність, забезпечують більшу навантажувальну здатність та більші робочі швидкості машин [1, 3, 5, 8].

Поряд з алгебраїчними методами синтезу таких механізмів шляхом використання теорії найкращого наближення функцій, що знайшли розвиток у роботах Чебишева, Блоха, Кіницького [3], Гассманна [8], перспективним напрямком у синтезі таких механізмів є використання методів кінематичної геометрії, що полягають у пошуку певних особливих точок у шатунній площині: використання їх як шатунних дозволяє отримати ділянку шатунної кривої наближено сталої кривизни, що можна використати у проектуванні кругових та прямолінійно-напрямних механізмів, а на їх основі – механізмів із зупинкою вихідної ланки. Фундаментальні роботи з синтезу механізмів методами кінематичної геометрії належать Бурместеру, Бейеру, Ліхтенхельдту [4], Геронімусу [2], Черкудінову [1]. Огляд сучасних методів синтезу таких механізмів наведено у роботах Іна [9], Уанга [10].

Як було показано автором у роботі [6], для проектування важільних прямолінійно-напрямних механізмів можна використати також знайдені точки розпрямлення 5-го порядку, що визначаються в загальному вигляді як перетин поворотного кола з кривою геометричного місця точок, які мають дотик 5-го порядку зі своїми дотичними колами. В роботі [6] описано розроблений метод синтезу таких механізмів. Крім того, в роботах Ліхтенхельдта [4] та Геронімуса [2] описано так званий випадок Чебишева 5-го порядку, для якого можна визначити особливу точку, що може бути визначена для 6-ти нескінченно близьких положень шатунної площини. Використання такої точки, що названа точкою Чебишева 5-го порядку [2], дозволяє отримати теоретично найкращу точність наближення до прямої лінії серед всіх існуючих методів кінематичної геометрії, оскільки в даному 6-кратному вузлі інтерполяції збігаються не тільки задана та замінена функції (шатунна крива та пряма лінія), але й п'ять їх перших похідних, що є максимально можливим варіантом наближення для шатунної кривої шарнірного чотириланкового механізму. Довгий час розв'язок цієї задачі був відомий тільки для часткового випадку симетричної форми шатунної кривої [1], проте, в результаті досліджень, проведених автором, були чисельно визначені

параметри таких механізмів в загальному випадку – з несиметричною формою шатунної кривої. Відповідна методика та результати наведені у роботі [7].

Метою даної роботи є перевірка правильності результатів та працездатності механізмів, отриманих з використанням розроблених автором аналітично-числових методів синтезу, використовуючи систему інженерного аналізу SOLIDWORKS Motion.

На рис. 1 зображено важільний шестиланковий механізм, що забезпечує періодичну зупинку вихідної ланки. Механізм працює наступним чином: якщо на шатуні AB базового шарнірного чотириланкового механізму $OABC$ вибрати деяку шатунну точку D , яка в даному положенні механізму буде збігатись з точкою розпрямлення 5-го порядку, або з точкою Чебишева 5-го порядку, то вона буде викреслювати шатунну криву, яка на деякій своїй ділянці $D'D''$ буде наближатись до прямої лінії. Якщо приєднати до базового прямолінійно-напрямого механізму $OABCD$ додаткову структурну групу 4-5 3-го, або 5-го виду, то вихідна ланка такого механізму буде мати зупинку, тривалість якої визначається тривалістю перебування шатунної точки D на ділянці наближення шатунної кривої. Величина цієї зупинки буде визначатись кутом α_Σ , що відповідає куту повороту кривошипа 1 підчас зупинки вихідної ланки 5 механізму (рис. 1).

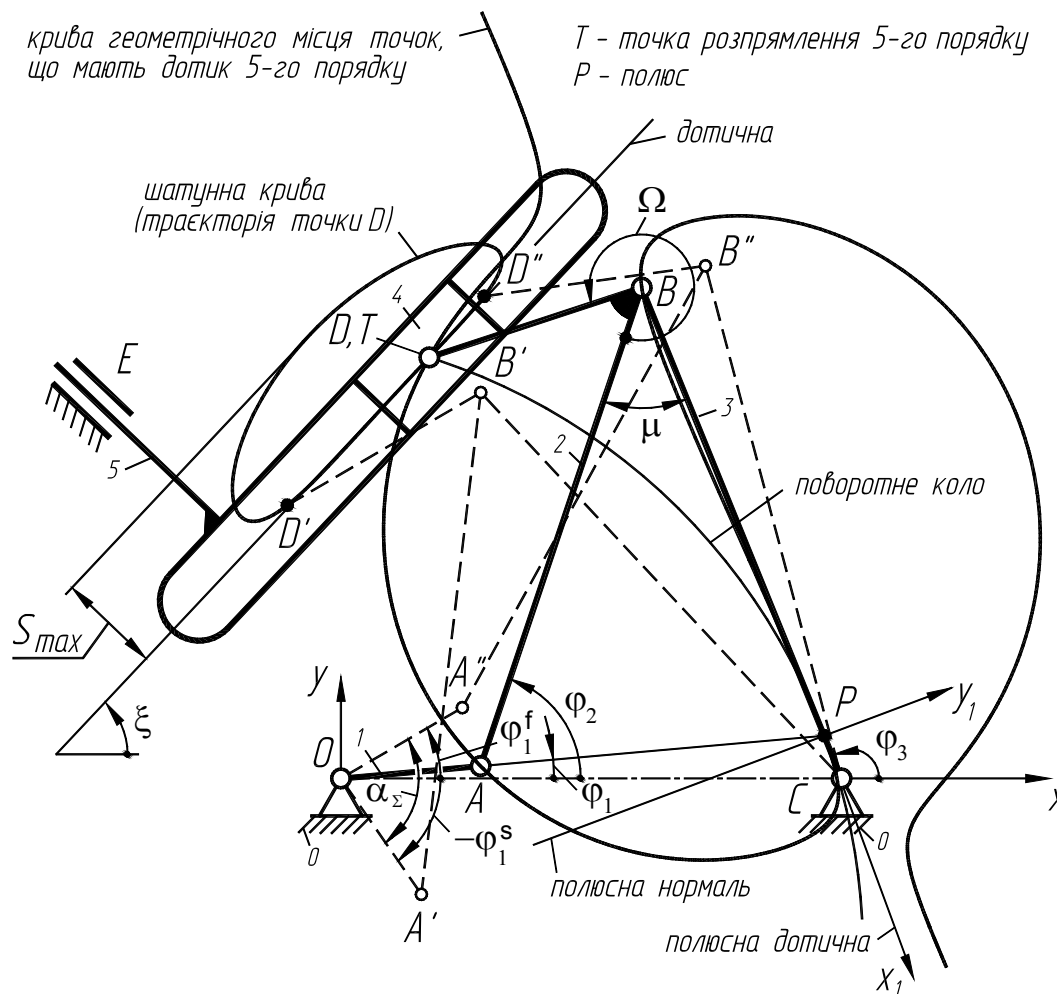


Рис. 1. Важільний шестиланковий механізм із зупинкою вихідної ланки (на основі точки розпрямлення 5-го порядку) [6]

Методика синтезу таких механізмів, з використанням точок розпрямлення 5-го порядку, наведена автором у роботі [6]. В даній роботі проведемо перевірку правильності розроблених методів та отриманих результатів, а також працездатність синтезованих механізмів, що можна зробити за допомогою їх моделювання роботи у системі SOLIDWORKS 2015. Для проведення кінематичного дослідження механізмів будемо використовувати підсистему SOLIDWORKS Motion 2015.

Для цього була створена комп'ютерна модель шестиланкового важільного механізму (рис. 2), який складається з базового несиметричного прямолінійно-напрямого шарнірного чотириланкового механізму та приєднаної групи II класу 5-го виду, та забезпечує періодичну зупинку вихідної ланки.

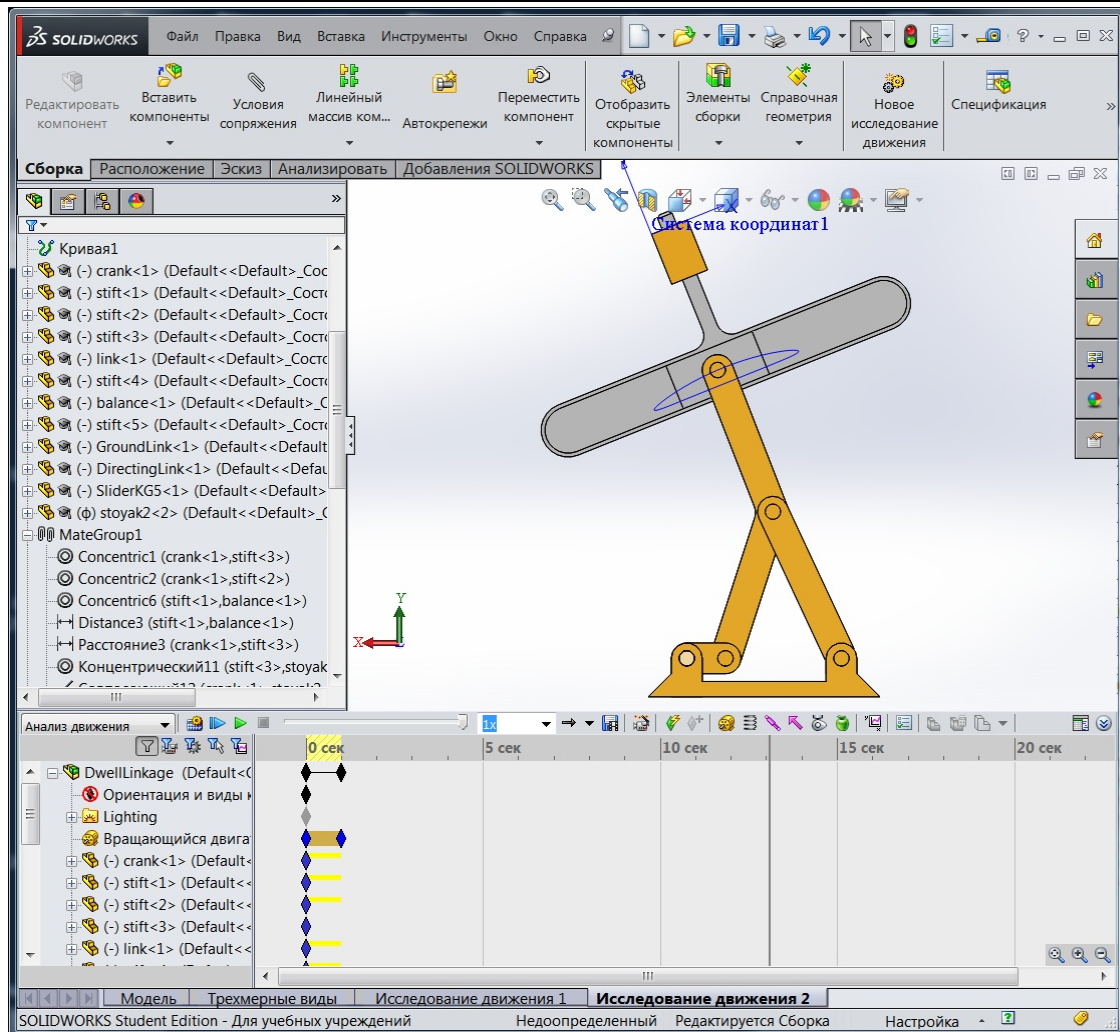


Рис. 2. Комп'ютерна модель важільного механізму із зупинкою вихідної ланки (синтезований на основі точки розпрямлення 5-го порядку)

Розглянемо приклад розрахунку важільного механізму, синтезованого на основі точки розпрямлення 5-го порядку, що забезпечує зупинку вихідної ланки та має розміри ланок та параметри, наведені у табл. 1 (значення отримані з використанням методу, наведеного у [6]). Прийнято наступні позначення: $r = l_{OA}$, $b = l_{AB}$, $c = l_{BC}$. Всі розміри є відносними, за модуль довжини прийнято відстань між осями нерухомих шарнірів $l_{OC} = 1$. Довжина другого плеча шатуна $k = l_{BD}$ та кут його злomu Ω визначаються положенням шатунної точки D механізму відповідно до координат знайденої точки розпрямлення 5-го порядку. Ці та інші параметри механізмів, зокрема величину максимального ходу вихідної ланки $S_{\max}$ точність наближення E , можна визначити за методикою, наведеною у [5]. Особлива точка визначалась у положенні шатунної площини, що задається кутом повороту кривошипа φ_{SP} . Величина інтервалу наближення визначалась за допомогою розробленого автором числового методу з використанням безрозмірного коефіцієнта граничної швидкості вихідної ланки [5]. Відповідно до проведених розрахунків визначався початок інтервалу наближення, що відповідає куту повороту кривошипа $\varphi_{\text{поч}}$, а також довжина прямолінійної ділянки шатунної кривої L (в дужках вказано процент прямолінійної ділянки відносно довжини шатунної кривої).

Таблиця 1

Параметри механізму, побудованого на базі точки розпрямлення 5-го порядку

Параметр	Значення	Параметр	Значення
Довжина кривошипа r	0,25	φ_{SP} , град.	180
Довжина шатуна b	1	$\varphi_{\text{поч}}$, град.	129.6
Довжина коромисла c	1.05	$S_{\max}$	0.0993091261
Друге плече шатуна k	0.986280169553596	α_{Σ} , град.	132.4
Кут ξ , град.	21.9428739355862	Довжина L	0.79211 (38.67%)
Кут Ω , град.	219.085550605109	Відхилення E	1.23E-02

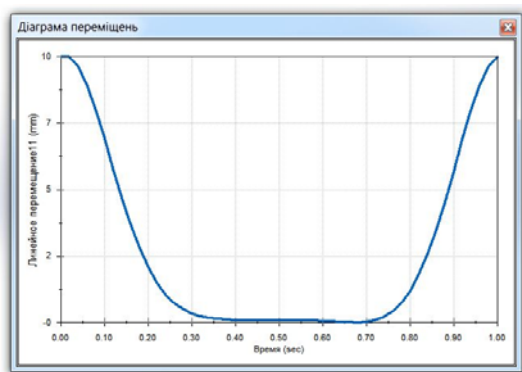
Комп'ютерна модель була створена повністю параметричною, з можливістю отримання всіх вхідних даних для проведення розрахунків за допомогою розробленого автором програмного забезпечення, яке призначене для проведення синтезу та аналізу таких механізмів. На рис. 3 показано приклад вікна налаштування параметрів комп'ютерної моделі у системі SOLIDWORKS 2015.

Уравнения, глобальные переменные и размеры

Имя	Значение / Уравнение	Равняется
Глобальные переменные		
"Кривошип r "	= 25	25
"Шатун b "	= 88.937486	88.9375
"Коромисло c "	= 140.239376	140.239
"Друге плече шатуна k "	= 37.583399	37.5834
"Кут злому шатуна OMEGA"	= 180	180
"Кут нахилу прямолинійної ділянки KSI"	= 39.566636529604	39.5666
Добавить глобальную переменную		
Элементы		
Добавить погашение элемента		
Уравнения - Верхний уровень		
"D1@Угол1"	= "Кут нахилу прямолинійної ділянки KSI" + 90	129.56663653gr
Добавить уравнение		
Уравнения - Компоненты		
"D8@Sketch1@crank<1>.Part"	= "Кривошип r "	25мм
"D8@Sketch1@balance<1>.Part"	= "Коромисло c "	140.24мм
"D11@Sketch1@link<1>.Part"	= "Шатун b "	88.94мм
"D12@Sketch1@link<1>.Part"	= "Друге плече шатуна k "	37.58мм
"D9@Sketch1@link<1>.Part"	= "Кут злому шатуна OMEGA"	180градусов
"D5@Sketch1@link<1>.Part"	= 360 - "Кут злому шатуна OMEGA"	180градусов
Добавить уравнение		

Рис. 3. Вікно параметрів комп'ютерної моделі механізму у SOLIDWORKS

Для механізму, побудованого за цими геометричними параметрами та зображеного на рис. 2, у системі SOLIDWORKS Motions побудована діаграма переміщень його вихідної ланки (рис. 4, а). Для порівняння, на рис. 4, б наведена таку ж діаграму, але побудовану за даними, отриманими за допомогою розробленого програмного забезпечення з використанням методів, описаних у [5, 6].



а)



б)

Рис. 4. Діаграма переміщень вихідної ланки, отримана у системі SOLIDWORKS Motion (а) та з використанням розробленого програмного забезпечення (б)

Як видно з рис. 4, достовірність розробленого методу синтезу важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки за допомогою точок розпрямлення 5-го порядку підтверджується результатами, отриманими за допомогою інженерного програмного забезпечення SOLIDWORKS Motion. Слід відзначити, що для зручності модуль довжини ланок механізму $l_{OC} = 1$ відповідає у моделі SOLIDWORKS величині 100 мм – таким чином значення ординат графіків відрізняються на два порядки. На рис. 5, а, б наведено результати кінематичного дослідження зазначеного механізму, – а саме: діаграма швидкостей та прискорень. Для порівняння, на рис. 5, в, г наведено також відповідні діаграми, але отримані вже за допомогою розробленого програмного забезпечення.

Оскільки розрахунок у системі SOLIDWORKS Motion та у розробленому програмному забезпеченні проводиться з використанням різних методів (відповідно числовий та аналітично-числовий), отже доцільно провести порівняння не тільки загального вигляду діаграм, але й числових даних з метою перевірки правильності проведених розрахунків. В табл. 2 показано отримані результати: в першій графі наведено миттєвий час, що визначає положення механізму (період руху $T=1$), в другій – кут повороту кривошипа ϕ_1 , в третій та четвертій – переміщення вихідної ланки, отримані з використанням відповідно системи SOLIDWORKS Motion та розробленого програмного забезпечення.

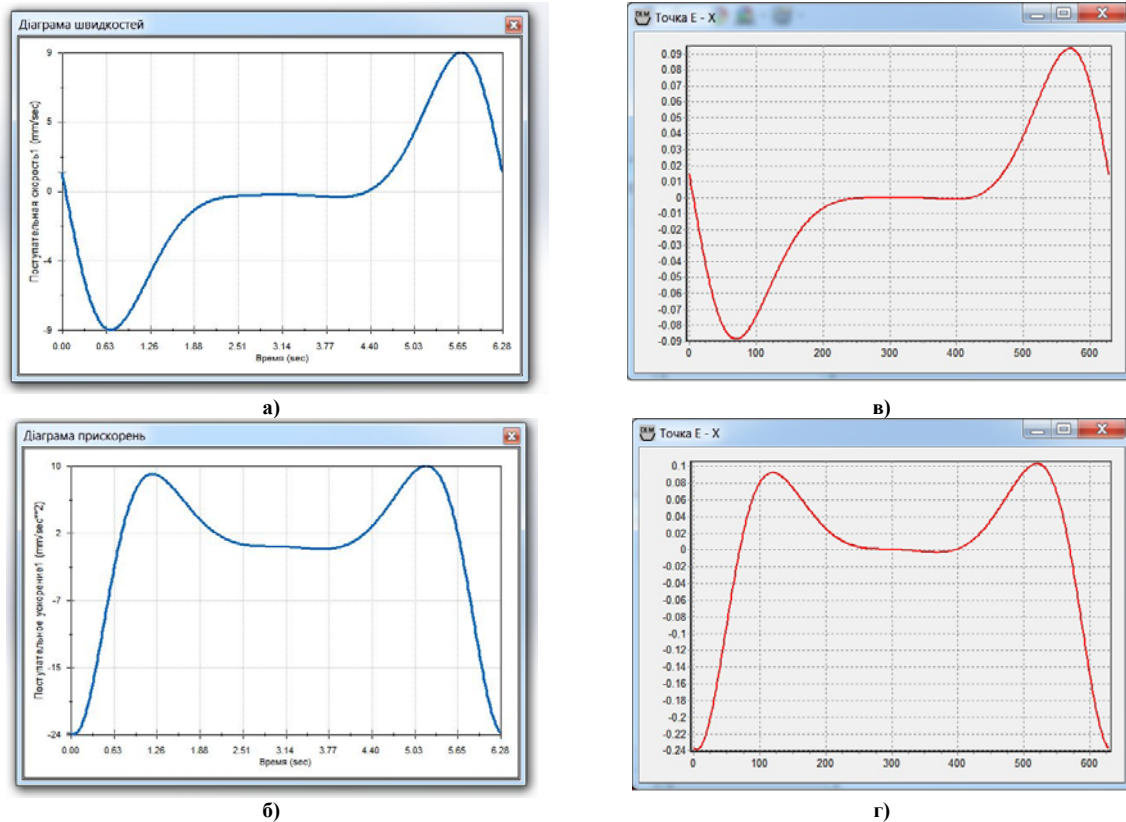


Рис. 5. Результати дослідження механізму, синтезованого за допомогою точки розпрямлення 5-го порядку: діаграми швидкостей та прискорень, отримані у SOLIDWORKS Motion (а, б) та у розробленому програмному забезпеченні (в, г)

Таблиця 2

Результати розрахунку досліджуваного механізму (механізм побудовано на базі точки розпрямлення 5-го порядку)

Час	φ_1	$S_E \cdot 100$	S_E (SolidWorks Motion)	Різниця
0	0	9.809165444174	9.809165442170	2.0038E-09
0.04	14.4	9.431848632688	9.431848630108	2.58001E-09
0.08	28.8	7.824463549550	7.824463546514	3.0363E-09
0.12	43.2	5.651535419676	5.651535416353	3.32314E-09
0.16	57.6	3.581397653946	3.581397650528	3.41821E-09
0.2	72	1.994395505040	1.994395501709	3.33129E-09
0.24	86.4	0.969611778986	0.969611775900	3.08563E-09
0.28	100.8	0.406001338033	0.406001335317	2.71618E-09
0.32	115.2	0.144650255657	0.144650253399	2.25829E-09
0.36	129.6	0.044491517548	0.044491515800	1.74755E-09
0.4	144	0.012474536935	0.012474535716	1.21885E-09
0.44	158.4	0.002787101705	0.002787101001	7.04414E-10
0.48	172.8	0.000129440442	0.000129440217	2.24571E-10
0.5	180	0	4.75007E-13	4.75007E-13
0.52	187.2	-0.000164399506	-0.000164399307	1.98942E-10
0.56	201.6	-0.005200913048	-0.005200912498	5.50457E-10
0.6	216	-0.024928196393	-0.024928195584	8.08808E-10
0.64	230.4	-0.059318879243	-0.059318878274	9.68502E-10
0.68	244.8	-0.077139338101	-0.077139337074	1.02676E-09
0.72	259.2	0.004752602101	0.004752603082	9.81153E-10
0.76	273.6	0.329687454506	0.329687455334	8.28383E-10
0.8	288	1.082307614107	1.082307614680	5.73208E-10
0.84	302.4	2.425584684694	2.425584684912	2.18246E-10
0.88	316.8	4.383205559545	4.383205559311	2.3438E-10
0.92	331.2	6.694027341140	6.694027340365	7.74617E-10
0.96	345.6	8.752244120436	8.752244119057	1.37922E-09
1	360	9.809165444174	9.809165442170	2.0038E-09

Оскільки при створенні моделі, для зручності, відстань між осями нерухомих шарнірів була прийнята $l_{OC} = 100$ мм, тому для порівняння результатів розрахунку переміщення S_E вихідної ланки, отримане з використанням розробленого програмного забезпечення, необхідно помножити на 100 (як наведено у 4-й графі таблиці). Порівняння результатів, наведених у табл. 2 показали, що в середньому різниця між результатами, отриманими з використанням різних методів склала $1,04 \cdot 10^{-9}$. Таким чином, отримані нами результати підтверджуються результатами розрахунку за допомогою програми SOLIDWORKS Motion, а наявна похибка не є суттєвою і зумовлена в тим, що розрахунки проводяться з використанням різних методів, які забезпечують відповідно різну точність.

Порівняння результатів, наведених у табл. 2 показали, що в середньому різниця між результатами, отриманими з використанням різних методів склала $1,53 \cdot 10^{-9}$.

Розглянемо шарнірний чотириланковий прямолінійно-напрямний механізм (рис. 6), за шатунну точку якого прийнято точку Чебишева 5-го порядку [2, 4]. Цей механізм також може бути використаний як базовий при проектуванні шестиланкового механізму із зупинкою вихідної ланки, як показано на рис. 1. В роботі [7] автором наведено геометричні параметри прямолінійно-напрямних механізмів, синтезованих з використанням точок Чебишева 5-го порядку (синтез проводився чисельним методом з використанням умов Мюллера). Розглянемо моделювання такого механізму у системі SOLIDWORKS Motion. Комп'ютерна модель у цьому випадку залишається такою ж, як і в попередньому випадку (рис. 2), змінюються лише параметри, які були отримані в результаті проведеного синтезу (табл. 3).

Таблиця 3

Параметри механізму, побудованого на базі точки Чебишева 5-го порядку			
Параметр	Значення	Параметр	Значення
Довжина кривошипа r	0.25	φ_{SP} , град.	206
Довжина шатуна b	0.88937486	$\varphi_{поч}$, град.	150.1
Довжина коромисла c	140.239376	S_{max}	0.1202305279
Друге плече шатуна k	0.37583399	α_S , град.	112.41
Кут ξ , град.	39.566636529604	Довжина L	0.59049 (31.81%)
Кут Ω , град.	180	Відхилення E	3.7E-03

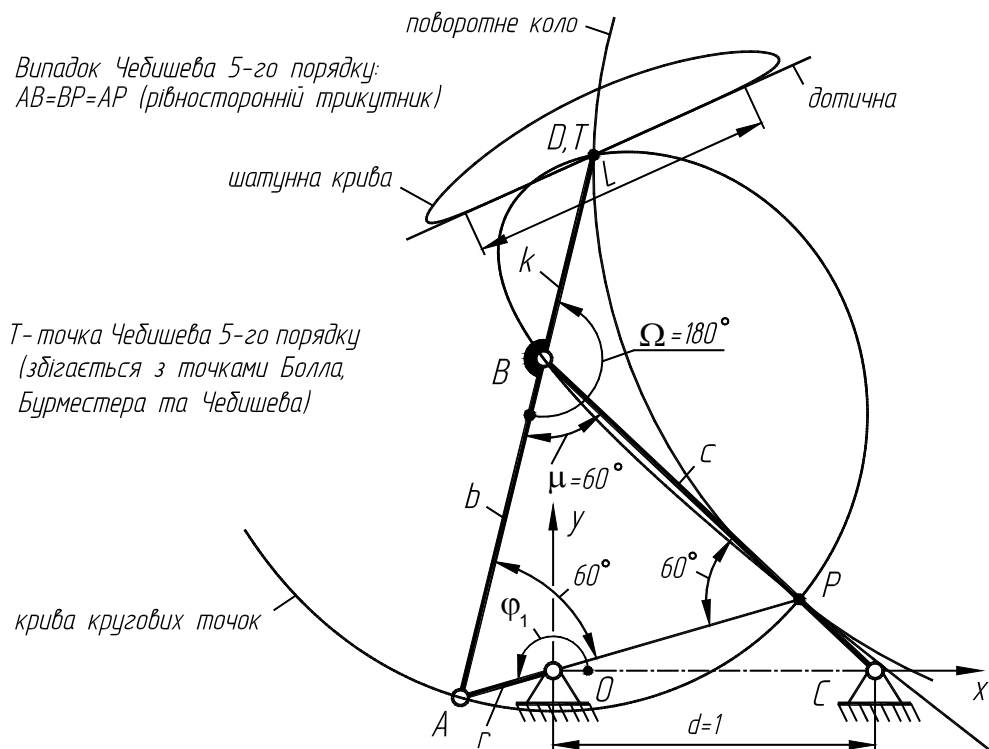


Рис. 6. Прямолінійно-напрямний шарнірний чотириланковий механізм для випадку Чебишева 5-го порядку (загальний випадок – шатунна крива є несиметричною) [7]

Результати проведеного кінематичного дослідження наведені на рис. 7, з якого видно відповідність результатів, отриманих різними методами.

Числові результати проведених розрахунків щодо визначення переміщень вихідної ланки механізму, синтезованого за допомогою точки Чебишева 5-го порядку, наведені у табл. 4. Позначення, наведені у таблиці, аналогічні до табл. 2.

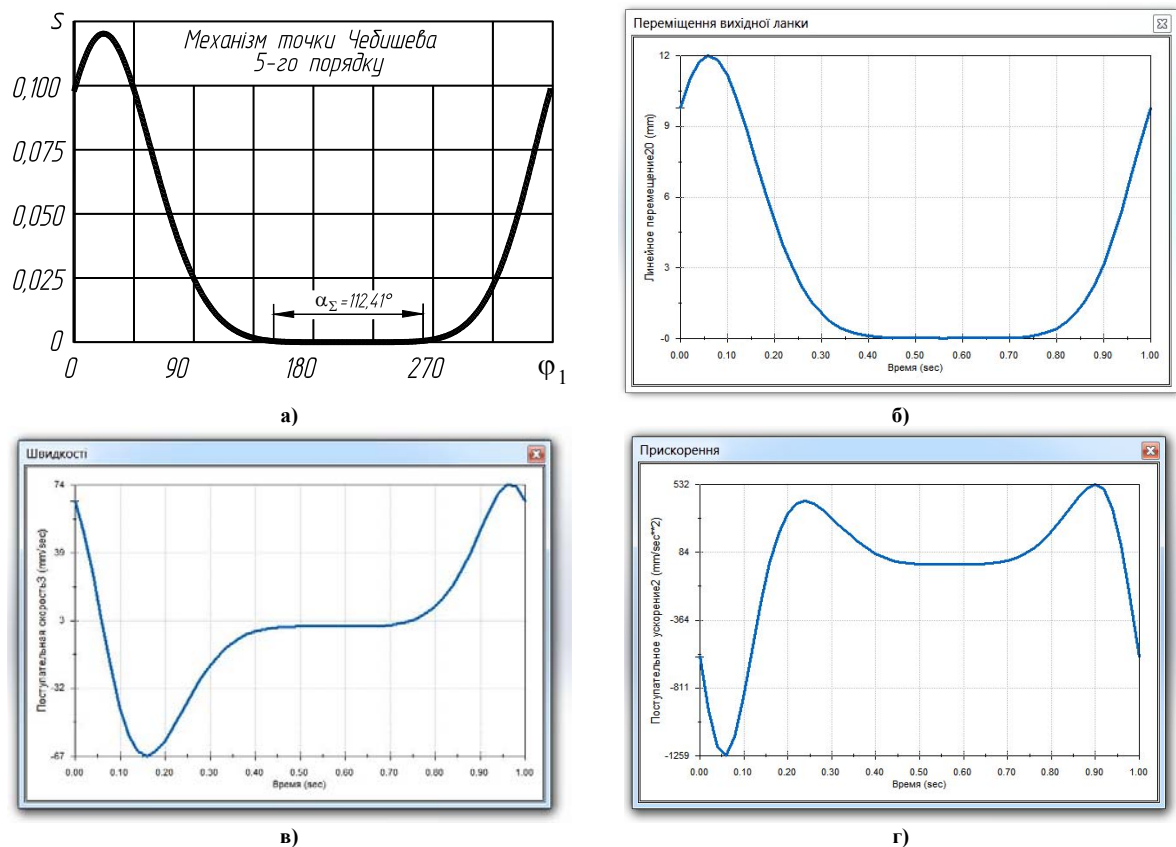


Рис. 7. Результати кінематичного дослідження механізму, синтезованого за допомогою точки Чебишева 5-го порядку: а) діаграма переміщень, отримана з використанням розробленого програмного забезпечення; б), в), г) результати, отримані у SOLIDWORKS Motion

Таблиця 4

Результати розрахунку досліджуваного механізму
(механізм побудовано на базі точки Чебишева 5-го порядку)

Час	φ_1	$S_E \cdot 100$	S_E (SolidWorks Motion)	Різниця
0	0	9.787974353048	9.787974354234	1.18593E-09
0.04	14.4	11.719207519038	11.719207520115	1.0768E-09
0.08	28.8	11.824486885210	11.824486886164	9.53705E-10
0.12	43.2	10.178567071674	10.178567072534	8.60195E-10
0.16	57.6	7.617825461209	7.617825461995	7.86445E-10
0.2	72	5.034420112354	5.034420113089	7.35032E-10
0.24	86.4	2.957724791467	2.957724792202	7.35482E-10
0.28	100.8	1.538455235962	1.538455236698	7.35381E-10
0.32	115.2	0.696860306045	0.696860306798	7.53679E-10
0.36	129.6	0.265946319929	0.265946320720	7.90818E-10
0.4	144	0.080570178793	0.080570179637	8.43665E-10
0.44	158.4	0.017336877429	0.017336878317	8.88635E-10
0.48	172.8	0.002092003056	0.002092004004	9.47577E-10
0.52	187.2	0.000073366436	0.000073367437	1.00024E-09
0.56	201.6	-0.000000098564	-0.000000097506	1.05838E-09
0.6	216	0.000001445892	0.000001446999	1.10718E-09
0.64	230.4	0.000285867708	0.000285868872	1.16485E-09
0.68	244.8	0.004713410741	0.004713411956	1.2149E-09
0.72	259.2	0.031222736449	0.031222737710	1.26081E-09
0.76	273.6	0.129391446815	0.129391448124	1.30894E-09
0.8	288	0.401532742972	0.401532744296	1.32359E-09
0.84	302.4	1.019066504643	1.019066505984	1.34092E-09
0.88	316.8	2.212925800392	2.212925801725	1.33277E-09
0.92	331.2	4.189957983188	4.189957984507	1.31855E-09
0.96	345.6	6.910880503549	6.910880504828	1.27898E-09
1	360	9.787974353048	9.787974354237	1.18856E-09

Порівняння результатів, наведених у табл. 4 показали, що в середньому різниця між результатами, отриманими з використанням різних методів склала $1,04 \cdot 10^{-9}$.

Таким чином, в результаті проведених досліджень у системі SOLIDWORKS розроблено параметричну комп'ютерну модель шестиланкового важільного механізму, що забезпечує періодичну зупинку вихідної ланки та за допомогою SOLIDWORKS Motion проведено кінематичний аналіз механізмів, що синтезовані з використанням особливих точок шатунної площини, а саме – точки розпрямлення 5-го порядку та точки Чебишева 5-го порядку. Результати комп'ютерного моделювання підтвердили правильність розроблених теоретичних методів синтезу та наявність зупинки вихідної ланки заданої тривалості. Дослідження планується продовжити в напрямку проведення кінестатичного дослідження зазначених механізмів.

Література

1. Артоболевский И. И. Синтез плоских механизмов / И. И. Артоболевский, Н. И. Левитский С. А. Черкудинов. – М. : Физматгиз, 1959. – 1084 с.
2. Геронимус Я. Л. Геометрический аппарат теории синтеза плоских механизмов / Я. Л. Геронимус. – М. : Гос. издательство физ.-мат. литературы, 1962. – 400 с.
3. Киницкий Я.Т. Шарнирные механизмы Чебышева с выстоем выходного звена / Я. Т. Киницкий. – К. : Вища школа, 1990. – 232 с.
4. Лихтенхельдт В. Синтез механизмов / В. Лихтенхельдт. – М. : Наука, 1964. – 228 с.
5. Харжевський В.О. Синтез важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки методами кінематичної геометрії : монографія / В.О. Харжевський. – Хмельницький : РВЦ ХНУ, 2015. – 223 с.
6. Харжевський В.О. Метод синтезу важільних прямолінійно-напрямних механізмів з використанням точок розпрямлення 5-го порядку / В.О. Харжевський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 5 (229). – С. 62–67.
7. Харжевський В.О. Числовий синтез несиметричних важільних прямолінійно-напрямних механізмів з дотиком 5-го порядку / В.О. Харжевський // Технічні науки та технології. – Чернігів : ЧНТУ, 2015. – № 1 (1). – С. 24–30.
8. Gassmann V. Synthese von Geradföhrungen mit ebenen Viergelenkgetrieben, Hamburg, Universität der Bundeswehr Diss., 2000. – 102 p.
9. Yin L. A General Method for Synthesizing Straight-Line Linkage with Ball and Burmester Points / L. Yin, J. Han, J. Huang, T. Yang // Applied Mechanics and Materials, Vols 215-216, 2012, pp. 138–141.
10. Wang D. Kinematic Differential Geometry and Saddle Synthesis of Linkages / Wang D., Wang W. – John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 2015. – 450 p.

Рецензія/Peer review : 29.6.2016 р.

Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Кіницький Я.Т.

АНАЛІЗ ПЛОСКИХ МЕХАНІЗМІВ ВИЩИХ КЛАСІВ З РУХОМИМ ЗАМКНЕНИМ КОНТУРОМ

Складні багатоланкові плоскі механізми все частіше застосовуються в технологічному обладнанні легкої промисловості. Відсутність універсального способу кінематичного дослідження таких механізмів дозволяє стверджувати про актуальність робіт з кінематичного аналізу багатоланкових механізмів. Розроблено послідовність дій для кінематичного дослідження швидкостей точок ланок складного плоского механізму четвертого класу графоаналітичним способом, що базується на положеннях курсу теоретичної механіки про миттєвий центр швидкостей ланок механізму, що мають плоскопаралельний рух. Визначено вектори швидкостей точок ланок групи Ассура четвертого класу третього порядку складного плоского механізму графоаналітичним методом, в якому умовно змінено початковий механізм, що призвело до зменшення класу механізму та дозволило виконати його дослідження.

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

S.O. KOSHEL, A.V. KOSHEL

Kiev National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF FLAT MECHANISMS WITH CLOSED CIRCUIT OF UPPER CLASSES WITH THE MOVEMENT

Complex planar mechanisms are increasingly being used in the process equipment of light industry. The lack of a universal method of kinematic research of these mechanisms allows us to assert the relevance of work on the kinematic analysis of multilink mechanisms. Purpose of the work is development sequence of actions for kinetic research velocities of the points of the planar links complex mechanism of graphic-analytical method that is based on the provisions of the course theoretical mechanics about instantaneous velocity center links of the mechanism, which have plane-parallel motion. Analyzed the velocity vectors of the points of the links of group Assur fourth class of third-order complex planar mechanism graphic-analytical method, which provisionally amended the initial mechanism that has led to a reduction class of mechanism and allowed to perform his research.

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

Вступ

Вдосконалення існуючого технологічного обладнання легкої промисловості та проектування нових машин пов'язано з досконалістю методів аналізу структурних груп ланок плоских механізмів, з яких останні складаються. Найбільш розробленими є методи дослідження діад або двоповодкових груп.

Знайдені та достатньо відомі методи аналізу структурних груп, до яких надходить чотири ланки, що утворюють групи 3 класу 3 порядку або 4 класу 2 порядку, на основі яких можна структурно синтезувати механізми відповідного класу.

Структурні групи, до складу яких надходять шість ланок з одного боку вже використовуються або мають значні перспективи застосування в механізмах технологічного обладнання легкої промисловості, з іншого – не мають загальновідомих методів кінематичного та динамічного досліджень. Пов'язано таке з різноманіттям структурних груп, які можуть бути утворені шістьма ланками та дев'ятьма кінематичними парами.

Недостатня розробка способів аналізу таких структурних груп є фактором стримування їх використання в технологічному обладнанні.

Постановка завдання

Розробити послідовність дій для кінематичного дослідження швидкостей точок, що співпадають з геометричними центрами кінематичних пар структурної групи четвертого класу третього порядку з рухомим замкненим контуром, утвореним шатунами та двома складними ланками, що базуються на положеннях курсу теорії механізмів і машин про властивість механізмів вищих класів змінювати клас в залежності від умовно обраного іншого можливого початкового механізму, що надходить до складу ведених структурних груп ланок механізму та положень курсу теоретична механіка про миттєвий центр швидкостей (МЦШ).

Аналіз досліджень та публікацій

Значна кількість публікацій останніх десятиріч присвячена практичному використанню та питанням теоретичного дослідження структурних, кінематичних та динамічних параметрів плоских складних механізмів четвертого та вище класів. Застосування багатоланкових структурних груп ланок в певних механізмах захищено патентами на корисну модель [1–3]. Питанням теоретичного аналізу механізмів вищого класу присвячується ряд робіт [5–7], зокрема механізмів обладнання легкої промисловості [8, 9].

Задачі кінематичного дослідження складних плоских механізмів залишаються актуальними тому, що в кожному конкретному випадку дослідження механізму вищого класу необхідно підбирати та виконувати оригінальну послідовність дій, яка викликана одночасним застосуванням декількох способів кінематичного аналізу, а універсального способу дослідження різноманіття таких складних механізмів четвертого та вище класів не існує.

Формулювання цілей

Результати та їх обговорення

Ураховуємо структурну властивість механізмів вищих класів змінювати (зменшувати) клас за умови зміни початкового механізму іншим можливим умовним механізмом першого класу [10]. Якщо за початковий механізм обрати сукупність ланок 0, 7 – механізм набуває вигляду механізму третього класу, формула будови якого

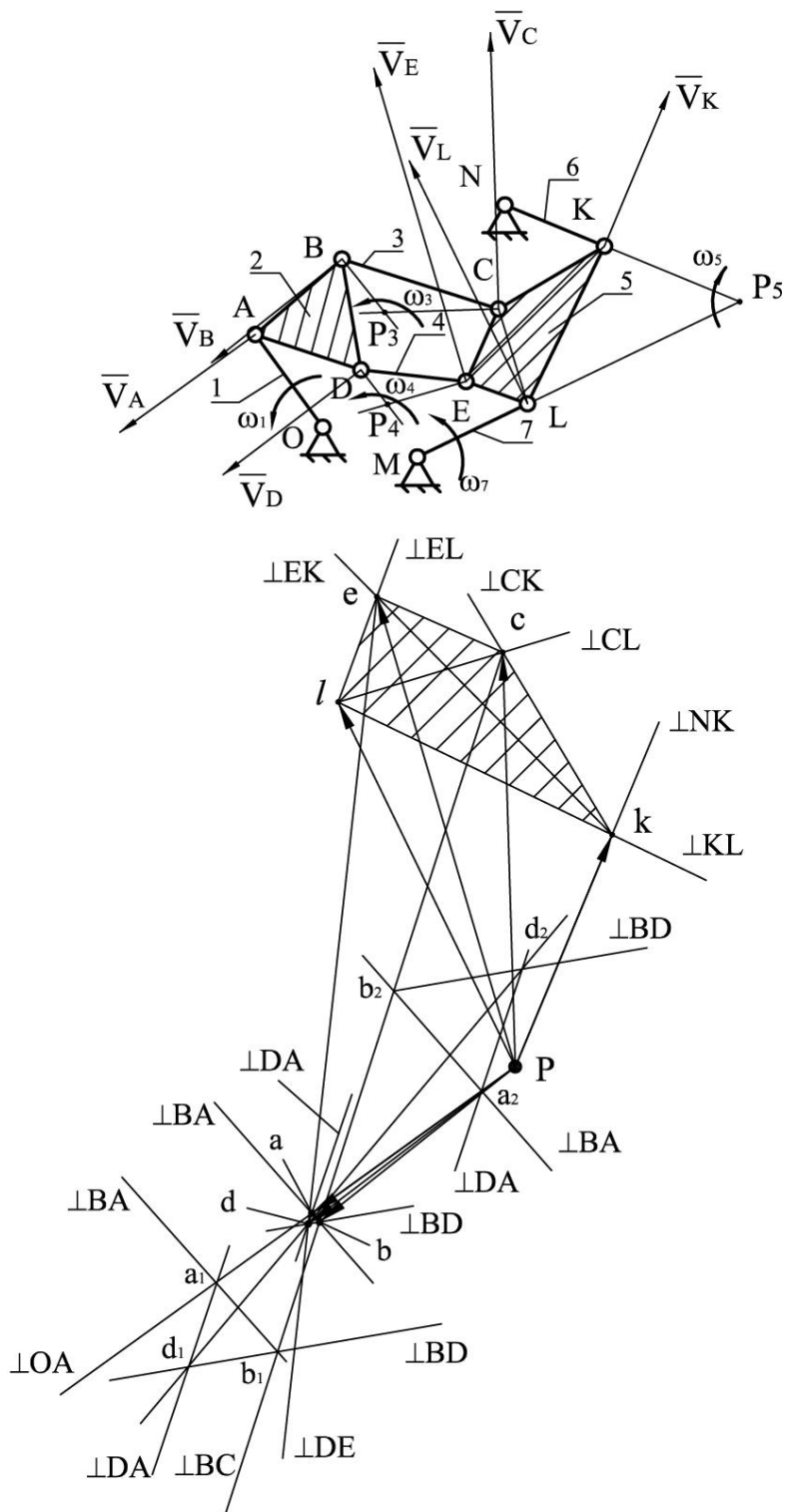


Рис. 1. Кінематична схема та план швидкостей механізму четвертого класу

1 клас (ланки 0, 7) $\rightarrow$ 2 клас 2 порядку 1 вид (ланки 5, 6) $\rightarrow$ 3 клас 3 порядку (ланки 1 – 4).

Якщо в якості механізму першого класу обрати інший можливий початковий механізм, а саме сукупність ланок 0, 6 – загальний вигляд формули будови залишається незмінним, а групу Ассура другого класу в формулі утворюватимуть ланки 5, 7.

Кінематичне дослідження починаємо з того, що умовно задаємося кутовою швидкістю ω_7 коромисла 7 за величиною та напрямком, як ланки, яка згідно з формулою будови механізму є іншою умовно можливою ведучою ланкою механізму: на плані швидкостей відкладаємо вектор $\vec{Pl}$ довільної довжини за напрямком вздовж перпендикуляра до лінії ML , напрямку кутової швидкості ω_7 обираємо довільно, наприклад, проти напрямку руху годинникової стрілки. Складаємо систему векторних рівнянь для визначення швидкості точки K :

$$\begin{cases} \vec{V}_K = \vec{V}_L + \vec{V}_{K;L} \\ \vec{V}_K = \vec{V}_N + \vec{V}_{K;N} \end{cases} \quad (1)$$

Розв'язуємо систему рівнянь та визначаємо на плані вектор $\vec{Pk}$. За умови належності L, K, C, E до однієї складної ланки 5 та згідно з теоремою подібності визначаємо положення точок «e», «c» та векторів швидкостей $\vec{V}_E, \vec{V}_C$ на плані швидкостей.

Зауважимо, що для спрощення можна застосувати умову належності точок L, K, C, E до однієї ланки 5, що має плоскопаралельний рух та те, що напрямки векторів швидкостей точок K, L задається кінематичною схемою механізму, тому напрямки векторів $\vec{V}_K, \vec{V}_L$ спрямовуються вздовж перпендикулярів до напрямків, відповідно, NK та ML . За умови відомих за напрямком векторів швидкостей двох точок ланки 5 визначаємо положення точки P_5 – МЦШ шатуна 5, як точки перетину продовження осевих ліній ланок NK та ML . Тоді згідно з теоремою про визначення швидкостей точок тіла, що має плоскопаралельний рух на плані швидкостей задаємося довжиною вектора швидкості однієї точки (наприклад, точки L), довжини інших трьох точок будуть пропорційними до відповідних відстаней цих точок до положення точки P_5 . За напрямком вектори швидкостей точок L, K, C, E спрямовані перпендикулярно до відрізків, що з'єднують їх з МЦШ ланки 5. Фактично, можна умовно задатися миттєвою кутовою швидкістю обертання шатуна 5 навколо МЦШ цієї ланки.

Подальший розв'язок полягає в тому, щоб підібрати довжину вектора $\vec{V}_A$ швидкості точки A такою, яка задовольняла би умові довільно прийнятої величини кутової швидкості шатуна 5. За напрямком швидкість $\vec{V}_A \perp OA$ спрямована в бік спрямування заданої кутової швидкості ω_1 дійсної ведучої ланки 1 механізму, а лінією можливих дійсних положень точки «a» на плані є лінія, що проведена через полюс P в напрямку перпендикулярному до кривошипа OA . Задаємося можливим положенням точки «a₁» та розв'язуємо систему векторних рівнянь, які дозволяють визначити положення інших двох точок «b₁» «d₁» на плані:

$$\begin{cases} \vec{V}_B = \vec{V}_C + \vec{V}_{B;C}; \vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_{B;A}; \\ \vec{V}_D = \vec{V}_A + \vec{V}_{D;A}; \vec{V}_D = \vec{V}_B + \vec{V}_{D;B}; \end{cases} \quad (2)$$

де вектори відносних швидкостей мають напрямки перпендикулярні до відповідних відносних миттєвих радіусів обертання.

Аналіз отриманого положення точки «d₁» дозволяє констатувати – положення точки «a₁» на плані було обрано не вірно тому, що отримане положення точки «d₁» не знаходиться на лінії можливих положень точки згідно векторному рівнянню:

$$\vec{V}_D = \vec{V}_E + \vec{V}_{D;E}, \quad (3)$$

тобто не на лінії, що проведена через точку «e» плану в напрямку перпендикулярному до відрізка DE .

Для іншої довільно обраної точки «a₂» на плані повторюємо аналогічні побудови та визначаємо положення точки «d₂», за яким робимо висновок про так саме не вірне положення точки «a₂». Два невірних положення точки «a» дозволяють підібрати таке положення цієї точки, яке відповідатиме довільно обраній величині кутової швидкості шатуна 5: дійсне положення точки «a» визначаємо на перетині лінії, що побудована на плані згідно з векторним рівнянням (3) та лінії «d₁d₂». Згідно з системою векторних рівнянь (2) визначаємо дійсні положення точок «b» «d» на плані.

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

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

дійсного масштабного параметру виконаної графічної побудови.

Висновки

Розроблено послідовність дій та виконано кінематичне дослідження швидкостей точок механізму четвертого класу з рухомих замкненим контуром, утвореним шатунами та двома складними ланками, що базується на структурній властивості механізмів вищого класу змінювати клас за умови обрання іншого можливого початкового механізму, що дозволило зробити можливим виконання кінематичного аналізу за умови оптимізації об'ємів графічних побудов дослідження. Запропоновану послідовність кінематичного аналізу можна рекомендувати для проведення аналогічних досліджень складних плоских механізмів четвертого та вище класів.

Література

1. Пат. РФ 2201348. Кривошипно-ползунный механизм пресса / Дворников Л.Т., Чужиков О.С., Стариков С.П. – 27.03.2003.
2. Пат. РФ 2303699. Секция механизированной крепи / Дворников Л.Т., Князев А.С., Стариков С.П. – 27.07.2007.
3. Пат. РФ 2332260. Двухщечковая дробильная машина / Дворников Л.Т., Стариков С.П. – 27.08.2008.
4. Кикин А.Б. Аналитико-оптимизационный синтез шестизвенного механизма с выстоем / А.Б. Кикин, Э.Е. Пейсах // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2008. – № 5. – С. 79–83.
5. Дворников Л.Т. Исследование кинематики и кинестатики плоской шарнирной шестизвенной группы Ассура с четырехугольным замкнутым изменяемым контуром / Л.Т. Дворников, С.П. Стариков // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 2008. – № 4. – С. 3 – 10.
6. Чашников Д.О. Кинематическое исследование плоского восьмизвенного механизма шестого класса с поступательной парой / Д.О. Чашников, В.В. Горяшин // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 7. – С. 231 – 232.
7. Чашников Д.О. Кинематическое исследование плоского восьмизвенного механизма шестого класса с поступательной парой аналитическим методом / Д.О. Чашников, В.В. Горяшин // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6. – С. 158 – 159.
8. Гебель Е. С. Моделирование кинематики механизма игл основовязальной машины / Е. С. Гебель, Е. В. Солонин // Сборник материалов X междунар. научно-практ. конф. «Теоретические знания в практические дела» : в 2 ч. – Омск : Филиал ГОУ ВПО «РосЗИТЛП» в г. Омске, 2009. – Ч. 2. – С. 211 – 215.
9. Кикин А.Б. Синтез рычажных механизмов для привода нитераскладчика мотальной машины / А.Б. Кикин // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2005. – № 1. – С. 115 – 119.
10. Кошель С.О. Структурний аналіз складних плоских механізмів четвертого класу / С.О. Кошель, Г.В. Кошель // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 1. – С. 72–79.

Рецензія/Peer review : 28.7.2016 р.

Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Місяць В.П.

ДИНАМИКА СЕПАРАТОРА МЕХАНИЗМА СВОБОДНОГО ХОДА В СВОБОДНОМ ДВИЖЕНИИ

В работе обоснована целесообразность изучения движения сепараторов с роликами в период свободного движения механизмов свободного хода (МСХ) и оценка его перемещения, что необходимо для выбора параметров МСХ при их проектировании. Целью исследования динамики системы сепаратора с роликами является изучение амплитудно-частотных характеристик сепаратора. Составлено дифференциальное уравнение динамики сепаратора с роликами. Движение описывается применительно к плоскому движению сепаратора, совершающего переносное вращательное движение совместно со звездочкой с угловой скоростью звездочки и вращательное – относительно звездочки. В результате решения дифференциального уравнения, приведен график изменения угла относительного поворота сепаратора совместно с цилиндрическими роликами с учетом жесткости пружины общесепараторного прижимного устройства при различных режимах движения обоймы и звездочки.

Ключевые слова: механизм свободного хода, сепаратор с роликами, колебательное движение сепаратора, относительный угол поворота сепаратора.

ROBERT VACHAGANOVICH AMBARTSUMYANTS, SERGEY ALEKSANDROVICH ROMASHKEVICH

Odessa National Academy of Food Technologies

DYNAMICS OF THE SEPARATOR OF THE FREE – WHEEL MECHANISM IN FREE MOTION

The expediency of studying of the separators with rollers movement during free motion of the free – wheel mechanisms (FWM) and the estimation of its transfer, that is necessary for choice of the FWM parameters during their projection, has been grounded. The aim of investigation of the dynamics of the separator with rollers system is studying of amplitude – frequency characteristics of the separator, which greatly influence wearing of the working areas of the elements, stipulates readiness of FWM for jamming at the end of the period of the free motion.

For composition of differential equation of dynamics of the separator with rollers, the Lagrange equation of the second type has been used. The motion is described concerning plane movement of the separator, carrying out portable rotary movement together with a sprocket with the sprocket angular speed and rotary movement concerning the sprocket. The movement of the rollers is presented as two components – transient rotary together with the separator around the axis of the mechanism and relative rotation in the separator windows around theirs. The solution of the differential equation, which allows to determine the angle of the relative turning of the separator together with cylindrical rollers, taking into account spring tension of the general separator clamping device during different conditions of the casing and sprocket movement, has been presented.

Keywords: free – wheel mechanism, separator with rollers, oscillatory movement of a separator, relative angle of a separator turning.

Работа механизма свободного хода (МСХ) характеризуется следующими процессами: заклиниванием, расклиниванием и свободным ходом. После расклинивания МСХ сепаратор с телами заклинивания может совершать вращательное движение относительно внутренней или внешней звездочки, с которой он связан упругим звеном – пружиной кручения либо сжатия. При относительном движении сепаратора в МСХ с внутренней звездочкой ролики отрываются от звездочки и под действием центробежных сил прижимаются к обойме. В МСХ с наружной звездочкой центробежные силы отрывают тела заклинивания от внутренней обоймы и прижимают их к рабочей поверхности звездочки.

В работе [1] изучено движение только ролика МСХ в период свободного хода. Однако задача о характере изменения движения ролика с сепаратором не рассмотрены, что весьма важно при их проектировании.

В виду того, что МСХ с сепараторами широко используются в технике, необходимо изучить динамику сепараторов с роликами в период свободного хода и оценить их перемещения. Результаты исследования позволят обосновать выбор параметров МСХ при проектировании.

У МСХ с индивидуальными прижимами колебательную систему образует ролик и прижим. Колебания такой системы частично исследованы в ряде работ [1, 2 и др.].

Целью работы является изучение амплитудно-частотных характеристик МСХ с сепараторами, которые оказывают существенное влияние на износ рабочих поверхностей элементов, обуславливающих готовность МСХ к заклиниванию в конце периода свободного хода.

Для составления дифференциального уравнения динамики сепаратора с роликами используем уравнение Лагранжа II рода [3].

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{\varphi}_c} \right) - \frac{\partial K}{\partial \varphi_c} = Q_F + Q_P + Q_R, \quad (1)$$

где K – кинетическая энергия системы сепаратора с роликами;

φ_c и $\dot{\varphi}_c$ – угол поворота (обобщенная координата) и угловая скорость сепаратора при его движении относительно звездочки;

Q_F – обобщенная сила, соответствующая возмущающим силам;

Q_R – обобщенная сила, соответствующая силам сопротивления.

Кинетическая энергия K системы сепаратора с роликами состоит из кинетической энергии K_c сепаратора и кинетической энергии K_p роликов

Кинетическую энергию K_c определим применительно к плоскому движению сепаратора, ающего переносное движение совместно со звездочкой с угловой скоростью $\dot{\varphi}_2$ и вращательное – гельно звездочки с угловой скоростью $\dot{\varphi}_c$. Тогда абсолютная скорость сепаратора при правленном и разнонаправленном движении сепаратора и звездочки в широкую часть клинового анства (рис. 1) соответственно, равна:

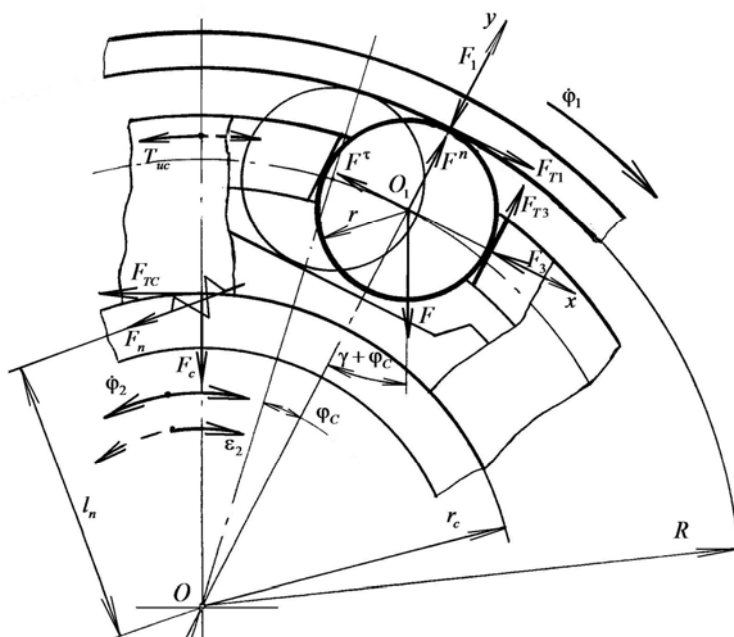
$$\dot{\phi}_{cap} = \dot{\phi}_2 - \dot{\phi}_c. \quad (4)$$

$$K_C = 0,5 I_C \dot{\phi}_{Ca}^2, \quad (5)$$

Движение роликов представим состоящим из переносного вместе с сепаратором $\dot{\phi}_{ca}$ и собственного вращения в окнах сепаратора вокруг своих осей с угловой скоростью $\dot{\phi}_p$.

$$K_{p1} = 0,5I_p \dot{\phi}_{pq}^2, \quad (6)$$

$\dot{\phi}_{pa}$ – абсолютная угловая скорость ролика.



Абсолютная угловая скорость ролика

$$\dot{\phi}_{pq} = \dot{\phi}_{cq} + \dot{\phi}_p. \quad (7)$$

Подобно катку фрикционного дифференциала, угловая скорость ролика в относительном вращении

в окнах сепаратора при однонаправленном и разнонаправленном вращениях обоймы и звездочки получим:

$$\dot{\varphi}_{po} = [\dot{\varphi}_1 - (\dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_c)]u; \quad (8)$$

$$\dot{\varphi}_{pp} = [\dot{\varphi}_1 + (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_c)]u, \quad (9)$$

где $u = \frac{R}{r}$;

R – радиус обоймы МСХ;

r – радиус ролика.

Абсолютная угловая скорость роликов при однонаправленном $\dot{\varphi}_{pao}$ и разнонаправленном $\dot{\varphi}_{pap}$ вращении обоймы и звездочки

$$\dot{\varphi}_{pao} = (\dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_c) + [\dot{\varphi}_1 - (\dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_c)]u, \quad (10)$$

$$\dot{\varphi}_{pap} = (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_c) + [\dot{\varphi}_1 + (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_c)]u. \quad (11)$$

Момент инерции ролика относительно центральной оси МСХ записываем в виде

$$I_p = m \cdot (0,5r^2 + l^2), \quad (12)$$

где m – масса ролика;

l – расстояние от центральной оси МСХ до оси ролика.

Выражение (6) с учетом зависимостей (10), (11) и (12), получаем кинетическую энергию для общего количества z роликов, принимает вид:

– обоймы и звездочки вращаются в одинаковых направлениях

$$K_{po} = 0,5mz \cdot (0,5r^2 + l^2) \cdot [(\dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_c) + (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_c)u]^2; \quad (13)$$

– обоймы и звездочки вращаются в разных направлениях

$$K_{pp} = 0,5mz \cdot (0,5r^2 + l^2) \cdot [(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_c) + (\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_c)u]^2. \quad (14)$$

Кинетическая энергия системы сепаратора с роликами K , согласно выражению (2), определяем после подстановки в него зависимостей (5) для однонаправленного вращения с учетом (3), (13) и (4), (14) для разнонаправленного вращения. Имеем:

$$K_o = 0,5I_c(\dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_c)^2 + 0,5mz \cdot (0,5r^2 + l^2) \cdot [(\dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_c) + (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_c)u]^2; \quad (15)$$

$$K_p = 0,5I_c(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_c)^2 + 0,5mz \cdot (0,5r^2 + l^2) \cdot [(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_c) + (\dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_c)u]^2. \quad (16)$$

Начало относительного движения сепаратора обуславливается потерей контакта роликов с внутренней звездочкой, т.е. нормальная реакция на поверхности контакта ролика со звездочкой $F_2 = 0$. Отсюда в начальный момент движения сепаратора принимаем $F_2 = 0$, что с незначительной погрешностью предопределяет перемещение сепаратора $\varphi_c = 0$ (рис. 1). Следовательно, движение сепаратора описывается с момента потери контакта, и это положение принимается как начальное.

Возмущающая сила Q_F обуславливается силой трения F_{T1} в контакте ролика с поверхностью обоймы. Силу трения F_{T1} , зависящую от нормальной реакции на поверхности контакта ролика с обоймой F_1 , находим $F_{T1} = f_1 F_1$.

Величину силы F_1 определяем из условия равновесия, записанного в виде суммы проекций всех сил, действующих на ролики $\sum F_y = 0$ (рис. 1), где ось y – в проход через центр МСХ и одного из роликов. Имеем $-F_1 + f_3 F_3 + F^n - F \cos(\gamma + \varphi_c) = 0$. Здесь усилие F_3 , действующее на ролик от общесепараторного прижимного устройства, находим по выражению $F_3 = \frac{F_n l_n}{z l}$. Тогда

$$F_1 = \frac{f_3 F_n l_n}{z l} + F^n - F \cos(\gamma + \varphi_c), \quad (17)$$

где $F_n = F_{n0} + F_{n\partial}$ – общесепараторное усилие; $F_{n0} = \frac{c \varphi_0}{l_n}$ – первоначальное усилие пружины и

$F_{n\partial} = \frac{c \varphi_c}{l_n}$ – прижимное усилие, возникающего при движении сепаратора, c – коэффициент угловой жесткости пружины; φ_0 – первоначальная деформация (угол установки) пружины при контактном положении роликов.

Выражение для определения общего прижимного усилия пружины получаем в виде

$$F_n = \frac{c(\varphi_0 + \varphi_c)}{l_n}. \quad (18)$$

Момент силы трения F_{Tc} , возникающей на центрирующей поверхности сепаратора и звездочки, препятствует относительному перемещению сепаратора, и его значение определяем по формуле

$$T_{Tc} = F_{Tc} r_c = F_0 r_c f_c.$$

Сила тяжести сепаратора с роликами находим из выражения

$$F_0 = F_c + \sum_{i=1}^z F \sin^2(\gamma_i + \varphi_c). \quad (19)$$

Тогда обобщенная возмущающая сила $Q_F = z m f_1 \dot{\varphi}_{ca}^2 + \frac{f_1 f_3 F_n l_n r}{l} - F_0 f_c r_c \operatorname{sgn} \dot{\varphi}_c$.

В виду малости угла φ_c в выражении (19) принимаем $\sin \varphi_c \approx \varphi_c$; $\cos \varphi_c \approx 1$. Тогда, после преобразования выражения (19) для силы тяжести получим

$$F_0 = F_c + \sum F \cdot (\sin^2 \gamma_i + 2\varphi_c \cos \gamma_i \sin \gamma_i + \varphi_c^2 \cos^2 \gamma_i). \quad (20)$$

Поскольку в выражении (19) угол φ_c не влияет на суммарную силу тяжести роликов, а угловая скорость сепаратора $\dot{\varphi}_c$, по сравнению с угловой скоростью звездочки $\dot{\varphi}_2$ незначительна, то угловая скорость $\dot{\varphi}_{ca}$ (см. выражение (3)) также незначительна. Тогда, при определении обобщенной силы Q_F ролики распределены равномерно по периметру сепаратора, то этими параметрами можно пренебречь.

Учитывая, что $\sum_{i=1}^z F \cos \gamma_i \sin \gamma_i = 0$, $\sum_{i=1}^z F \sin(\gamma_i + \varphi_c) = 0$, то после преобразований для обобщенной возмущающей силы при одинаковом и противоположном направлениях вращения обоймы и звездочки находим

$$Q_F = z m f_1 R \dot{\varphi}_2^2 + \frac{\varphi_c f_1 f_3 c R}{l} + \frac{\varphi_o f_1 f_3 c R}{l} - f_c r_c \left(F_c + \sum_{i=1}^z F \sin^2 \gamma_i \right) \operatorname{sgn} \dot{\varphi}_c. \quad (21)$$

В выражении (21) введен символ «sgn» в предположении, что сепаратор совершает колебательное движение. Соответственно при изменении направления движения сепаратора изменяется направление силы трения на центрирующей поверхности сепаратора и звездочки.

Восстанавливающую силу Q_P определим выражением

$$Q_P = -\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_c}, \quad (22)$$

где Π – потенциальная энергия общесепараторного прижимного устройства.

$$\Pi = 0,5c(\varphi_o + \varphi_c)^2. \quad (23)$$

Согласно (22) находим

$$Q_P = -c(\varphi_o + \varphi_c). \quad (24)$$

Силы сопротивления Q_R препятствуют перемещению роликов с сепаратором, расположенных в вязкой среде обильно смазанного МСХ.

Сила сопротивления среды, применительно к МСХ, зависит от размеров роликов, от относительной скорости движения сепаратора $\dot{\varphi}_c$ и от физических свойств жидкости применяющейся при смазке МСХ[1]. Тогда обобщенную силу сопротивления Q_R определяем из выражения

$$Q_R = \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_c}, \quad (25)$$

где Φ – функция рассеяния энергии движущихся роликов.

Функция рассеяния энергии z роликов определяется из выражения кинетической энергии роликов при их относительном перемещении совместно с сепаратором со скоростью $\dot{\varphi}_c$

$$K = 0,5I_p \dot{\varphi}_c^2, \quad (26)$$

С учетом зависимости (12) выражение (26) принимает вид

$$K = 0,5m(0,5r^2 + l^2) \cdot \dot{\varphi}_c^2. \quad (27)$$

Для определения функции рассеяния энергии необходимо вместо массы ролика m в выражении (27) подставить коэффициент затухания ξ

$$\xi = 6\pi\mu r,$$

где μ – динамический коэффициент вязкости смазки.

Тогда функция рассеяния

$$\Phi = 0,5z6\pi\mu r \cdot (0,5r^2 + l^2) \cdot \dot{\varphi}_c^2. \quad (28)$$

После подстановки производной кинетической энергии $\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{\varphi}_c} \right)$, согласно выражениям (15) и (16),

а также выражений (21), (24) и производной функции рассеяния энергии роликов (25), в уравнение (1) получаем дифференциальное уравнение динамики подпружиненного сепаратора с роликами при одновременном неравномерном, соответственно однонаправленном и разнонаправленном вращении обоймы и звездочки

$$A\ddot{\varphi}_c + B\dot{\varphi}_c + C\varphi_c + D\ddot{\varphi}_2 - E\ddot{\varphi}_1 = a\dot{\varphi}_2^2 - b\varphi_o - p \operatorname{sgn} \dot{\varphi}_c, \quad (29)$$

$$A\ddot{\varphi}_c + B\dot{\varphi}_c + C\varphi_c - D\ddot{\varphi}_2 - E\ddot{\varphi}_1 = a\dot{\varphi}_2^2 - b\varphi_o - p \operatorname{sgn} \dot{\varphi}_c, \quad (30)$$

где

$$A = I_c + mz(1+u) \cdot (0,5r^2 + l^2);$$

$$B = 3\pi\mu z \cdot [r^3(1+u) + 2rl^2(1+u)] = 3\pi\mu z \cdot (1+u) \cdot (r^3 + 2rl^2);$$

$$C = c \cdot \left(1 - \frac{f_1 f_3 R}{l} \right);$$

$$D = I_c + mz(1+u) \cdot (r^3 + 2rl^2);$$

$$E = mzu \cdot (0,5r^2 + l^2);$$

$$a = mzl f_1 R;$$

$$b = c \cdot \left(1 - \frac{f_1 f_3 R}{l} \right);$$

$$p = f_c r_c \left(F_c + \sum_{i=1}^z F \sin^2 \gamma_i \right).$$

При известных законах изменения угловой скорости $\omega_2(t)$ и ускорения $\varepsilon_2(t)$ и величине начального прижимного усилия F_{n0} , жесткости пружины c сепараторного прижимного устройства можно определить характер функционирования сепаратора с роликами при наличии контакта роликов или его отсутствия с рабочими поверхностями звездочки и обоймы.

Выполнено решение численным методом зависимостей (29) и (30) при начальных условиях в начале свободного хода $t = 0$ и $\varphi_c = 0$ применительно к сепараторному МСХ с внутренней звездочкой главного редуктора вертолета [4] со следующими параметрами: $z = 18$; $R = 0,09$ м; $r_c = 0,0675$ м; $l_n = 0,0675$ м; $\alpha = 7^\circ$; $m = 0,035$ кг; $F_c = 11,5$ Н; $I_c = 5,16 \cdot 10^{-2}$ кг $\cdot$ м 2 ; $f_1 = f_3 = 0,1$; $f_c = 0,13$.

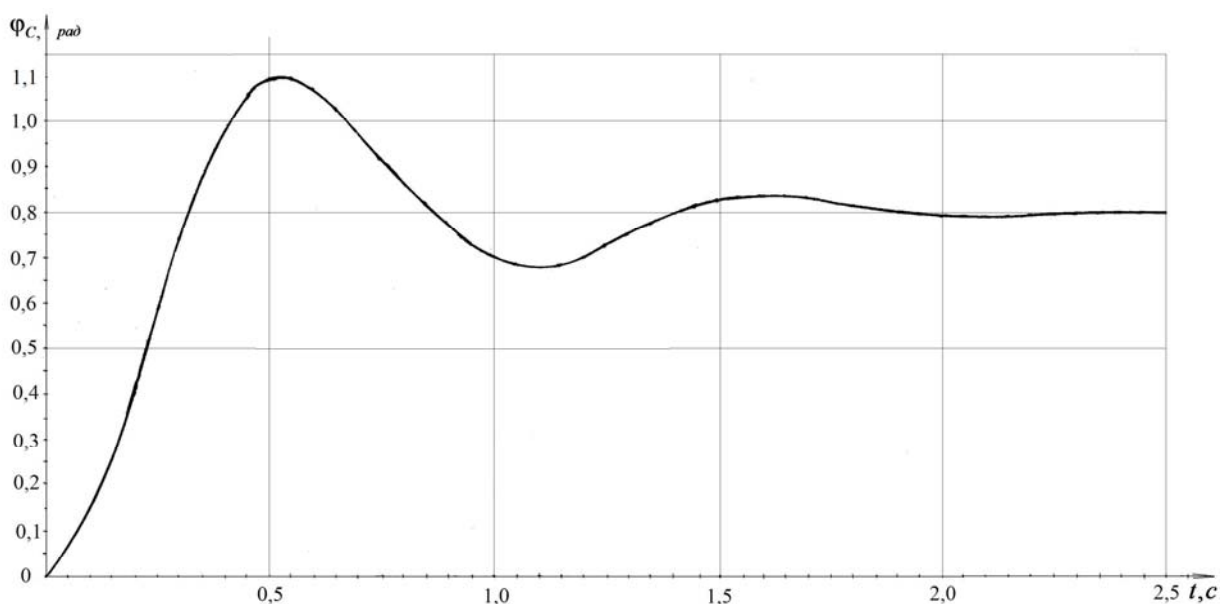


Рис. 2. График изменения φ_c механизма свободного хода с внутренней звездочкой

На рис. 2 приведен график изменения угла поворота сепаратора φ_c для МСХ с внутренней звездочкой от времени t как наиболее общий вариант при различных угловых скоростях звездочки $\omega_2 = 0 \dots 100 \text{ c}^{-1}$, угловом ускорении $\varepsilon_2 = 0 \dots 10 \text{ c}^{-2}$.

Из графика видно, что сепаратор с роликами совершает колебательное движение относительно звездочки. Качественный характер изменения угла поворота сепаратора показывает, что за незначительный промежуток времени колебательное движение сепаратора с роликами затухает.

Выводы:

1. Движение сепаратора с роликами в свободном ходе МСХ описывается дифференциальным уравнением второго порядка.
2. Решение дифференциального уравнения динамики сепаратора с роликами реализуется лишь численными методами.
3. Для уменьшения износа элементов МСХ в свободном движении необходимо обеспечить бесконтактное движение роликов путем подбора жесткости пружины.

Литература

1. Мальцев В.Ф. Роликовые механизмы свободного хода / В.Ф. Мальцев – М. : Машиностроение, 1968. – 416 с.
2. Пилипенко М. Н. Механизмы свободного хода / Пилипенко М.Н. – М. : Машиностроение, 1966. – 287 с.
3. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории упругих колебаний / Я.Г. Пановко – М. : Машиностроение, 1967. – 316 с.
4. Механические передачи вертолетов / Бушмарин Л.Б., Дементьев П.П., Иоффе Г.И. и др. ; под ред. В.Н. Кестельмана. – М. : Машиностроение, 1983. – 120 с.

Рецензія/Peer review : 7.7.2016 р. Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Гладушняк А.К.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ЗМІШУВАЧА БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

В роботі проведено дослідження можливості підвищення продуктивності відцентрового змішувача безперервної дії за рахунок визначення геометричних і технологічних параметрів ротора, що забезпечать мінімальну різницю часу перебування в ньому частинок різних компонентів суміші. Визначено критерій оптимізації та фактори, що впливають на перебіг процесу змішування. Отримано математичний опис функції цілі, який дозволяє із використанням відомих алгоритмів визначити оптимальні значення факторів.

Ключові слова: відцентровий змішувач безперервної дії, конічний ротор, оптимізація, траєкторія руху частинок, оптимальні параметри змішувача.

T. Y. BILA, V. V. STATSENKO

Kyiv National University of Technologies and Design

OPTIMUM PARAMETERS DETERMINATION IN CENTRIFUGAL MIXERS OF CONTINUOUS ACTION

The aim of the research is to increase the productivity of continuous action centrifugal mixer by determining rotor geometric and technological parameters, which will provide a minimum difference of time spent in it particles of the mixture components. The equipment for the continuous mixing of materials is widely used in various industries. Its performance affects both the product quality and the processing line performance as a whole. In this research the main rotor parameters of the continuous action mixers was determined. These parameters make high impact on the trajectory of the mixture components particles. A mathematical model of the particles motion in the rotor was determined. This model includes main rotor parameters, physical and mechanical parameters of the particles. To determine the optimum rotor parameters, which provides minimal difference in particles residence time in the rotor, the objective function mathematical description was defined. The permissible ranges have been set for all mathematical model parameters values. The optimal parameters search was made using the method of internal points. Also the global minimum search algorithm was used. As a result, the optimum values were obtained for the conic rotor following parameters: a base radius, height, half trumpet angle, rotation speed. The calculations results and mathematical models can be used in the design of continuous action centrifugal mixers with conical rotors.

Keywords: centrifugal mixer of continuous action, conical rotor, optimization, trajectory of the particles, the mixer optimal parameters.

Вступ

Обладнання для змішування сипких матеріалів широко застосовується у легкій, будівельній, харчовій, фармацевтичній та інших галузях промисловості. Основними параметрами суміші, що мають визначальний вплив на якість кінцевого продукту, є відповідність її складу заданій рецептурі та рівномірність розподілу компонентів. Складний характер фізико-механічних процесів під час взаємодії частинок суміші із робочими органами обладнання та різноманітні властивості компонентів зумовили появу змішувачів різних типів та конструкцій.

У даній роботі розглядаються відцентрові змішувачі безперервної дії з конічними роторами, що забезпечують високу продуктивність, низький нагрів компонентів суміші та можуть використовуватись в автоматизованих технологічних лініях [1, 2]. Відомо, що характер руху частинок у роторі залежить від його геометричних розмірів, швидкості обертання та властивостей компонентів суміші. Абсолютні величини та співвідношення цих параметрів суттєво впливають як на час змішування, так і на траєкторії, за якими рухаються частинки, а отже й на якість отриманого продукту [3]. Таким чином, задача визначення оптимальних робочих параметрів змішувачів даного типу є актуальною.

Постановка завдання

Метою роботи є дослідження можливості підвищення продуктивності відцентрового змішувача безперервної дії з конічним ротором за рахунок визначення оптимальних геометричних параметрів та режимів роботи, що забезпечать мінімальну різницю часу перебування в роторі частинок різних матеріалів.

Результати дослідження

Для змішувачів безперервної дії існує співвідношення [3], що визначає взаємозв'язок між продуктивністю змішувача Q , запасом матеріалу G та середнім часом перебування частинок $\bar{\tau}$ у ньому:

$$\bar{\tau} = \frac{G}{Q}.$$

В усталеному режимі роботи значення G можна вважати константою, тобто продуктивність змішувача визначається середнім часом перебування частинок у ньому. Для багатокомпонентних сумішей продуктивність буде визначатись компонентом із найгіршим значенням $\bar{\tau}$. Таким чином, забезпечення мінімальної різниці між значеннями $\bar{\tau}$ компонентів дозволить підвищити продуктивність відцентрового змішувача.

Розв'язок будь-якої задачі оптимізації передбачає визначення вхідних параметрів (факторів), діапазонів їх варіювання та критерію оптимізації, який задається у вигляді функції цілі.

Відомо [3], що у конічному роторі (рис. 1), який обертається, рух частинок суміші можна описати за допомогою диференційного рівняння:

$$\frac{d^2 z_r}{dt^2} - \frac{dz_r}{dt} \omega^2 \cdot \sin \alpha (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha) = g \cdot \sin \alpha (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha) + R_0 \omega^2 \cos \alpha (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha) - g, \quad (1)$$

де z_r – координата частинки вздовж вертикальної вісі, R_0 – радіус основи ротора [м], α – половина

куту розтрубу [град], H – висота [м], ω – швидкість обертання [с^{-1}] та f – коефіцієнт тертя між стінкою ротору та частинками суміші, g – прискорення вільного падіння [м/с^2].

Розв'язок рівняння (1) можна представити у вигляді:

$$z_r = \left(R_0 \cot \alpha + \frac{g}{(2\pi\omega)^2} - \frac{g}{(2\pi\omega)^2 \lambda^2} \right) \frac{\exp(4\pi\omega\lambda t) + 1 - 2\exp(2\pi\omega\lambda t)}{2\exp(2\pi\omega\lambda t)}, \quad (2)$$

де $\lambda = \sqrt{\sin \alpha (\sin \alpha - f \cos \alpha)}$.

Координати відносно осей X та Y визначаються за допомогою наступних виразів:

$$\begin{aligned} x_r &= (z_r \tan \alpha + R_0) \cos(2\pi\omega t), \\ y_r &= (z_r \tan \alpha + R_0) \sin(2\pi\omega t). \end{aligned} \quad (3)$$

Під час проектування змішувача конструктор може задавати параметри R_0 , α , ω та H , а f визначається фізико-механічними властивостями компонентів суміші, тобто мінімальне та максимальне значення цього параметру задаються рецептурою.

Розглянемо практичне вирішення задачі для змішування двокомпонентної суміші. Для цього побудуємо траєкторії руху частинок із різними коефіцієнтами тертя вздовж бічної стінки ротора (рис. 2). Параметри ротора мають наступні значення: $R_0 = 0,05 \text{ м}$, $\alpha = 500$, $\omega = 4,6 \text{ с}^{-1}$, $H = 0,1 \text{ м}$. Коефіцієнт тертя першої частинки (траєкторія на рисунку позначена цифрою 1) $f_1 = 0,7$, другої (траєкторія позначена цифрою 2) – $f_2 = 0,2$.

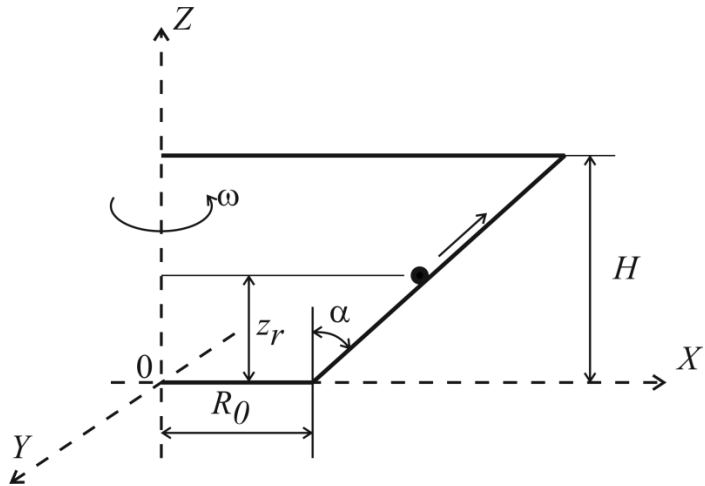


Рис. 1. Параметри кінцевого ротору відцентрового змішувача безперервної дії

Побудова траєкторії здійснювалась за допомогою програмного комплексу MatLab як розв'язок рівнянь 2 та 3. Значення змінної t змінювалось з кроком 10^{-4} с починаючи від 0, що дозволило отримати гладку криву. Побудова траєкторії припинялась при виконанні умови $z_r \geq H$.

Аналіз результатів свідчить, що частинка з меншим коефіцієнтом тертя рухається по траєкторії з меншою кількістю витків та, відповідно, меншою довжиною і швидше покидає ротор. Суттєва різниця між часом перебування частинок в роторі може призвести до виникнення нерівномірного розподілу компонентів всередині отриманої суміші, що до зниження її якості. Водночас, занадто низька швидкість обертання або малий кут розтрубу ротора можуть призвести до того, що частинки суміші не зможуть покинути ротор за рахунок дії відцентрових сил, що призведе до припинення процесу змішування.

Таким чином, в якості функції цілі обрано функцію, що визначає різницю між часом перебування частинок різних компонентів всередині ротора:

$$F(R_0, \alpha, \omega, H, f_1, f_2) = |t_1(R_0, \alpha, \omega, H, f_1) - t_2(R_0, \alpha, \omega, H, f_2)|. \quad (4)$$

Значення функцій t_1 та t_2 визначались за допомогою ітераційного методу розв'язку нелінійних рівнянь Trust-region dogleg [4], що реалізований в системі MatLab, відносно змінної t при $z_r = H$.

Для розв'язку задачі пошуку оптимальних значень параметрів змішувача також задано діапазони зміни вхідних величин (табл. 1).

Таблиця 1

	α , град	R_0 , м	ω , с^{-1}	H , м
Мінімальне значення	40	0,01	6,4	0,1
Максимальне значення	80	0,1	19,1	0,3

Значення коефіцієнту тертя першого компоненту $f_1 = 0,01$, другого – $f_1 = 0,8$.

Пошук оптимальних значень параметрів здійснювався із використанням методу внутрішньої точки [5], який дозволяє розв'язувати задачі випуклої оптимізації з умовами, що задані у вигляді нерівностей. Під час проведення розрахунків, кожен з параметрів, наведених у табл. 1, задавався у вигляді нерівності, наприклад:

$$40^\circ \leq \alpha \leq 80^\circ. \quad (5)$$

Враховуючи те, що загальний вигляд функції цілі не дає можливості однозначно стверджувати про наявність лише одного екстремуму, у дослідженні застосовано алгоритм пошуку глобального мінімуму [6], який включає наступні кроки:

1) Встановлюється перший локальний екстремум на основі використання початкових значень параметрів (за допомогою методу внутрішньої точки).

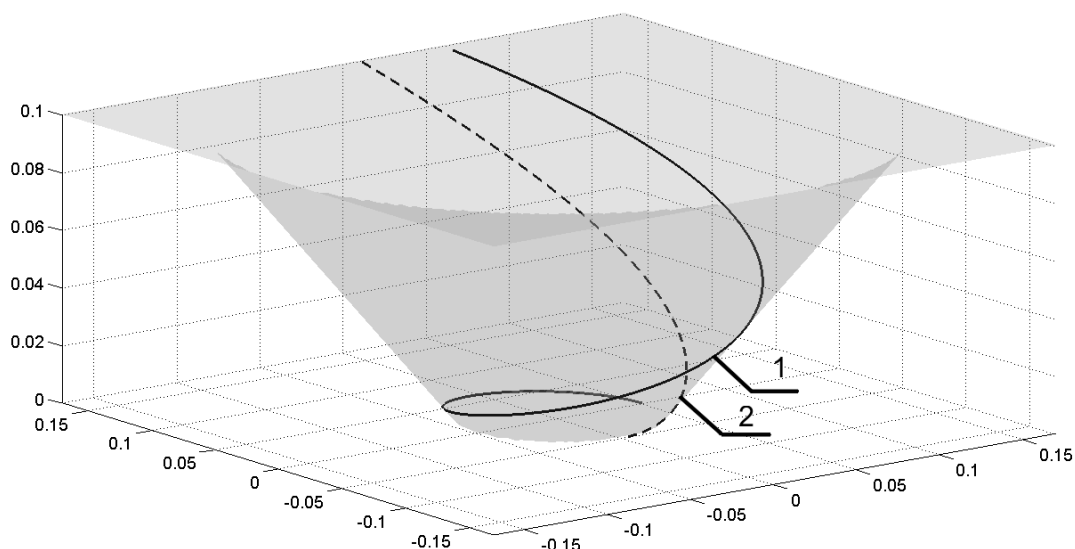


Рис. 2. Траєкторії руху частинок з різними коефіцієнтами тертя в кінчному роторі

2) Визначається множина нових точок за допомогою алгоритму пошуку розсіювання [7]. Кожна з цих точок знаходиться всередині області допустимих значень факторів та вважається потенційною стартовою точкою для пошуку нового локального мінімуму.

3) Для кожної нової точки визначається значення функції цілі.

4) Здійснюється аналіз отриманих значень, і для обраних точок повторюється процедура пошуку локальних екстремумів.

5) Формується вектор із значеннями функції цілі в точках отриманих екстремумів. Значення вектору відсортовуються в порядку зростання, таким чином, найкраще значення стає першим у результуючому векторі та обирається в якості глобального екстремуму.

В результаті проведеної оптимізації отримані наступні значення параметрів: $\alpha = 79,70$, $R_0 = 0,0675 \text{ м}$, $\omega = 19,1 \text{ с}^{-1}$, $H = 0,113 \text{ м}$. При цьому різниця між часом перебування частинок всередині ротора складає $3 \cdot 10^{-4} \text{ с}$.

Зазначимо, що запропонована у роботі процедура пошуку оптимальних значень параметрів кінчних роторів може бути повторена для будь-яких значень f_1 та f_2 , що дозволяє розраховувати змішувач виходячи із рецептур конкретних сумішей. Для сумішей, що складаються із більшої кількості компонентів, для розрахунків необхідно обрати компоненти, що мають мінімальне та максимальне значення коефіцієнтів тертя.

Висновки

Результати проведених досліджень свідчать, що використання запропонованого методу оптимізації дозволяє розраховувати параметри відцентрових змішувачів безперервної дії таким чином, щоб забезпечити максимальну продуктивність технологічного процесу за рахунок забезпечення мінімальної різниці часу перебування компонентів суміші всередині ротору. Перевагою запропонованого методу є можливість його реалізації із використанням стандартних функцій, вбудованих в сучасні математичні пакети прикладних програм, що суттєво зменшує час на підготовку та проведення розрахунків.

Література

1. Процеси та обладнання підготовчих виробництв легкої промисловості : навч. посіб. / [Бурмістенков О.П., Стародуб О.А., Місяць В.П. та ін.]. – К. : КНУТД, 2011. – 137 с.
2. Біла Т.Я. Автоматичні системи керування процесом змішування та режимами роботи змішувального обладнання / Т.Я. Біла, В.В. Стаценко // Вісник ХНУ. – 2006. – № 2. – С. 46–48.
3. Стаценко В.В. Розробка автоматизованого відцентрового змішувача безперервної дії з додатковою зоною змішування для сипких матеріалів легкої промисловості : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. Наук : 05.05.10 «Машини легкої промисловості» / Стаценко В.В. – К., 2007. – 21 с.
4. N.R. Conn, N.I.M. Gould, Ph.L. Toint. Trust-region methods. MPS/SIAM Series on Optimization, 2000.
5. R.A. Waltz, J.L. Morales, J. Nocedal and D. Orban, "An interior algorithm for nonlinear optimization that combines line search and trust region steps," Mathematical Programming, Vol 107, No. 3, 2006, pp. 391–408.
6. Ugray, Zsolt, Leon Lasdon, John C. Plummer, Fred Glover, James Kelly, and Rafael Martí. Scatter Search and Local NLP Solvers: A Multistart Framework for Global Optimization. INFORMS Journal on Computing, Vol. 19, No. 3, 2007, pp. 328–340.
7. F. Glover. "A template for scatter search and path relinking." Artificial Evolution (J.-K. Hao, E. Lutton, E. Ronald, M. Schoenauer, D. Snyers, eds.). Lecture Notes in Computer Science, 1363, Springer, Berlin/Heidelberg, 1998, pp. 13–54.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ТРИБОЛОГІЧНІЙ МЕТРОЛОГІЇ

В статті розглянуто питання впровадження інформаційних технологій в трибологічній метрології в частині кількісної цифрової фотографії в практику вимірювань та наукових досліджень ї, зокрема, трибологічних, що сприяє підвищенню рівня якості, наочності, інформативності та збереженості отриманих результатів, а наведені методологічні принципи формують необхідну базу для створення комп'ютерних фотомірювальних комплексів.

Ключові слова: метрологія, фотографія.

О.А. PASICHNYK

Khmelnytsky National University

INFORMATION TECHNOLOGIES IN TRIBOLOGICAL METROLOGY

In the article the question of information technology in tribological metrology in terms of quantitative digital photos into practice measures and research and, in particular, tribological, which will help increase the quality, visibility, informative and preservation of the results, and that the methodological principles forming the basis for the creation of computer information photo measuring complexes.

Keywords: metrology, photography.

Вступ

Сучасний етап розвитку людства характеризується величезними потоками інформації, які циркулюють в усіх сферах його діяльності [1]. Важливу роль серед різноманітних видів інформації відіграє вимірювальна інформація, яка несе кількісну оцінку результатів наукових досліджень, стану технологічних процесів, характеристик виробів, параметрів навколишнього середовища, фізіологічного стану людини, тощо [1]. Розвиток наукових досліджень загалом та трибологічних зокрема, потребує метрологічного забезпечення в частині вимірювання різноманітних фізичних величин, серед яких основну частку складають вимірювання неелектричних величин, сам процес має масовий характер, а ці тенденцію будуть зберігатися й розвиватися в майбутньому [1].

В той же час машинобудування України потребує розробки сучасних методів підвищення довговічності вузлів тертя. Особливо актуальною ця проблема постає в зв'язку з тим, що на поточний момент 85–90% відмов механічних систем пов'язано зі зношуванням рухомих спряжень та руйнуваннями контактуючих поверхонь [2].

В наукових дослідженнях та у виробничій практиці широко застосовуються методи візуалізації в яких використовується фототехніка. Широке застосування фотографії пояснюється не лише можливістю об'єктивно документувати різні явища та процеси, але й головним чином в наслідок ряду суттєвих переваг у порівнянні з оком людини [3].

Значні досягнення в галузі цифрових технологій зробили можливим застосування в цих областях цифрової техніки (цифрових фотоапаратів) [3–7]. Переваги цифрової фототехніки пов'язане з використанням зручних, малогабаритних, відносно дешевих пристроїв, які надають можливості для швидкого отримання зображення, зручного його перегляду, оперативної передачі каналами зв'язку в зручній формі.

Основний розділ

Поточний стан техніки та технологій загалом, та наукових досліджень зокрема, характеризується масштабним застосуванням інформаційних технологій широкого спектру та застосування.

Одним із цікавих та перспективних підходів в цьому напрямку є застосування цифрової фотографії, що поєднує в собі відомі переваги класичної фотографії [8] та можливості комп'ютерної техніки в цьому напрямку [3–5].

Перераховані особливості фотографічних процесів реєстрації інформації свідчить про суттєві переваги цих методів й тим самим визначає їхнє величезне значення у багатосторонніх галузях діяльності людини [3].

Результати отримані в роботі є одним із початкових кроків в методології кількісної цифрової фотографії, що підґрунтям для розробки методів автоматизованих фотографічних вимірювань на основі методів цифрової фотографії у поєднанні зі спеціалізованим програмним забезпеченням для їх обробки.

Найбільш інформативними є кількісні фотоматеріали, оскільки дозволяють отримати як якісні та й кількісні характеристики об'єктів [5, 6, 9, 10]. Кількісну фотографію можливо безпосередньо отримати з використання цифрової фототехніки, оскільки фактично цифрова фотографія є набором скінченної кількості пікселів, що й створює безпосередні можливості для подальших вимірювань.

Кількісна фотографія фактично може розглядатися як непрямий метод вимірювання. Метод є непрямим оскільки на початку дослідник має справу з сукупністю об'єктів, що утворюють зону зйомки, яка фіксується у вигляді кадру й надалі відтворюється у вигляді фотовідбитку або зображення на екрані монітору. З технічної точки зору розміри цифрового знімку при фотографуванні визначаються у пікселях, й відповідно у таких одиницях можливо визначити розміри об'єктів, які на ньому присутні.

В роботі [6] розглянуто питання про встановлення розмірів окремого пікселя в лінійних одиницях або оброзмірювання знімків. Основними напрямками вирішення питання про встановлення розмірів окремого пікселя в лінійних одиницях або оброзмірювання знімків є такі:

- використання даних про умови зйомки (рис. 1, а),
- використання даних про розміри зони зйомки (рис. 1, б),

- використання еталонних об'єктів (рис. 1, в).

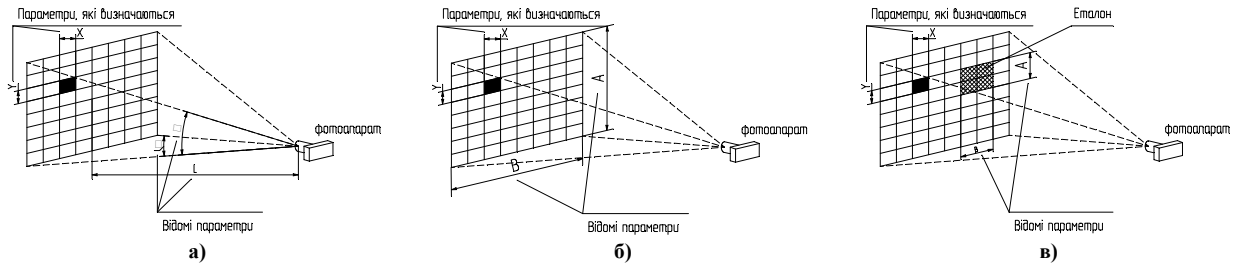


Рис. 1. Схеми встановлення розмірів окремого пікселя в лінійних одиницях:
а - використання даних про умови зйомки, б - використання даних про розміри зони зйомки,
в - використання еталонних об'єктів

Серед кількісних характеристик слід, в першу чергу, зазначити геометричні розміри самого об'єкту та його складових. Це створює принципові можливості застосування фотоматеріалів як початкових даних в різного роду математичних моделях, а використання інформаційних технологій на основі цифрових засобів у поєднанні з комп'ютерними технологіями надає можливість створення автоматизованих систем прогнозування динаміки протікання процесів для окремих, конкретних об'єктів (персональна ідентифікація процесів).

Для підвищення достовірності та інформативності метрологічної складової досліджень доцільним виявляється застосування інформаційних технологій, зокрема, комп'ютерних технологій візуалізації та реєстрації [7].

Широкому впровадженню інформаційних технологій в трибологічні дослідження в частині застосування комп'ютерної техніки при використанні саме кількісної та саме цифрової фотографії повинні сприяти, в першу чергу, такі обставини [5, 6, 9, 10]:

- для безрозмірювання фотографії потрібна невелика кількість додаткових даних про умови зйомки, а саме вимірювання може виконуватися потім через певний, навіть достатньо тривалий період часу;
- комп'ютеризація наукових досліджень, й у тому числі фотографії, дозволяє використовувати сучасні інформаційні технології для обробки зображень та автоматизації процесів визначення розмірів, розпізнавання образів тощо.

Сутність фотографічного методу вимірювань полягає в порівнянні послідовності фотографій та у відповідному визначенні положення досліджуваного об'єкту на цих фотографіях. В загальному випадку важко або практично неможливо встановити вимірювальне обладнання таким чином, щоб переміщення об'єкту відбувалося вздовж лише однієї осі й загальна схема такого вимірювання матиме вигляд наведений на рис. 2.

Для спрощення процедури автоматизації вимірювань доцільно проводити спостереження не за самим досліджуваним, а за деяким еталонним об'єктом – маркером. На наш погляд, найкращою формою маркеру є круг певного кольору. Колір маркеру визначається лише з умови отримання якісного зображення та можливості його простої та однозначної ідентифікації на тлі інших об'єктів. Також необхідно врахувати, що схема наведена на рис. 2, є лише принциповою, оскільки в дійсності маркер не може бути точною (рис. 3, а), а при формуванні цифрового зображення має місце дискретизація (рис. 3, б), що призводить до певного спотворення форми маркера (рис. 3, в).

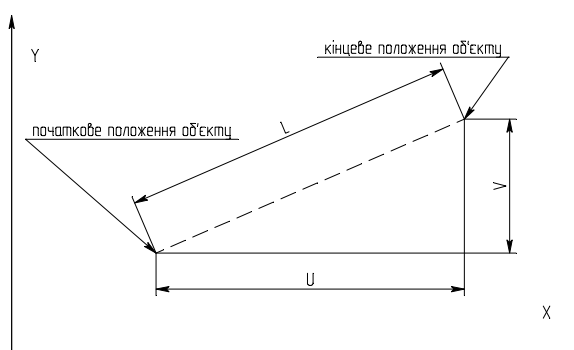


Рис. 2. Загальна схема вимірювання

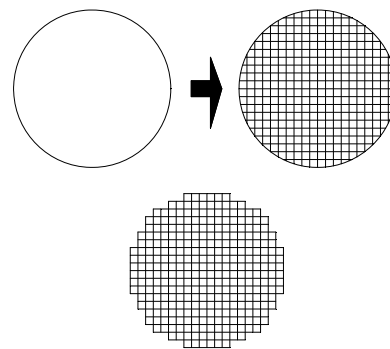


Рис. 3. Форма маркера: реальна, дискретна, на цифровій фотографії.

Таким чином, питання визначення переміщення при фотографічних вимірюваннях з використанням цифрових методів полягає у визначенні переміщення дискретизованого зображення маркера.

В ідеальному випадку при вимірюваннях контур маркера має форму круга й при переміщеннях ця форма не спотворюється й розміри маркера не змінюються (рис. 4). В такому випадку переміщення маркера й, відповідно, досліджуваного об'єкту будуть ідентичними переміщенням будь-якої точки на цифровому зображенні маркера.

В загальному випадку може мати спотворення форми маркера (рис. 5). Тому доцільно визначити переміщення маркера через зміну положення його геометричного центру згідно такого співвідношення:

$$L = \sqrt{(X_{ук} - X_{ун})^2 + (Y_{ук} - Y_{ун})^2}, \quad (1)$$

де $X_{цк}, Y_{цк}$ – кінцеві координати геометричного центру маркера; $X_{цп}, Y_{цп}$ – початкові координати геометричного центру маркера.

Початкові та кінцеві координати геометричного центру маркера визначаються як середнє арифметичне відповідних координат у відповідному положенні маркера.

Застосування розглянутого способу вимірювання вважається достатньо високоефективним при трибологічних дослідженнях, оскільки дозволяють отримати інформацію одночасно якісного та кількісного характеру та відрізняються достатньо високою точністю.

Для покращення якості фотографічного зображення застосовуються різноманітні пристосування (струбцини, штативи, тощо) для фіксації камери. З іншого боку це також дозволяє точно визначити умови отримання зображення, що створює передумови для його подальшого аналізу. Слід також згадати про можливість отримання збільшених зображень малорозмірних об'єктів, що є достатньо актуальним при трибологічних дослідженнях враховуючи особливості протікання процесів тертя та зношування. Для вирішення таких задач можуть використовуватися: можливості самого фотоапарату, якщо він використовується з об'єктивом, що має змінну фокусні відстань – варіо-об'єктиви, або зі спеціальними подовжувальними кільцями чи механізмами, фотоапарат з додатковим об'єктивом, фотоапарат в комплексі з мікроскопом [6].

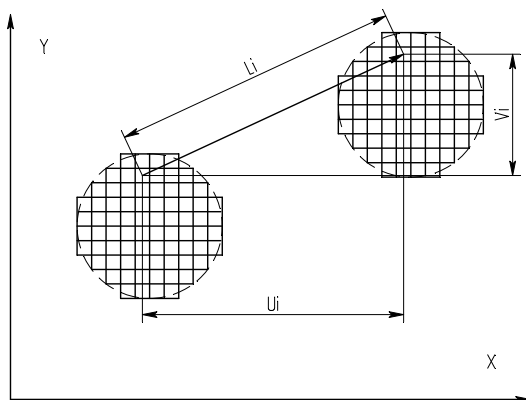


Рис. 4. Переміщення маркера (ідеальний випадок)

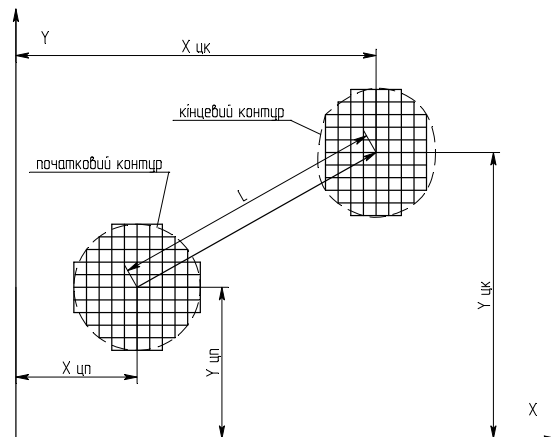


Рис. 5. Переміщення маркера (загальний випадок)

Сучасний стан розвитку технічного забезпечення кількісної фотографії характеризується такими рисами. По-перше, надзвичайно великою є кількість різноманітних дешевих цифрових фотоапаратів з широким спектром службових характеристик та ціновим діапазоном. По-друге, дуже широке розповсюдження комп'ютерної техніки, що примокла та продовжує проникати у практично всі сфери життя та діяльності людини. По-третє, несуттєва спрямованість зазначених вище засобів для використання в сфері метрології, й, відповідно, практична відсутність таких засобів промислового виготовлення.

Особливо незрозумілим є та обставина, що потенційні можливості такого методу вимірювання навіть на сучасному етапі є вражаючими. Так в роботі [6] описана розроблена автором устаткування, що використовувало цифровий фотоапарат з досить посередніми характеристиками, але все одно дозволило отримати непогані кінцеві значення стосовно точності вимірювання. Тобто створюються величезні можливості для отримання інформаційно містких результатів, що безумовно є важливим при проведенні трибологічних досліджень для відтворення якісної та кількісної картини протікання процесів тертя та зношування.

При проведенні трибологічних досліджень із застосуванням цифрових фотоапаратів доцільно їхнє використання в комплексі з комп'ютером та програмним забезпеченням, що забезпечує дистанційне керування фотоапаратом.

Можливість застосування запропонованого підходу щодо інформатизації трибологічних досліджень на основі сучасних засобів цифрової фотографії та комп'ютерної техніки вивчалася при проведенні досліджень з метою отримання кількісних характеристик процесу руху мастильного матеріалу [11–14]. Оскільки такі вимірювання необхідно було виконувати в динамічному режимі, слід було забезпечити відповідні засоби реєстрації. Для вирішення цієї проблеми було застосовано засоби та методи цифрової фотографії [9, 10]. Застосування саме таких апаратно-програмних засобів створило необхідні умови, як для самого отримання результатів з необхідною якістю та у необхідній кількості, так й для подальшого вимірювання, аналізу й інтерпретації.

Використання запропонованих засобів та методів цифрової фотографії дозволило дослідити динаміку мастильної краплі по плавкій поверхні та отримати якісні та кількісні результати руху мастильного матеріалу по поверхнях декількох класів металевих матеріалів, визначити відповідні показники динаміки мастильної краплі, побудувати необхідні номограми, які дозволяють визначити область ефективної дії відцентрових сил, як механізму подачі мастильного матеріалу в зону тертя з маслом утримуючих канавок [11–14].

Серед наведених раніше проблем в частині ефективного використання кількісної цифрової фотографії відзначалася відсутність промислових зразків такого типу обладнання, що, безумовно, відрізняються високою метрологічною якістю. Але ця обставина стосується лише інструментальної складової методики вимірювання, яка дозволяє отримати фактично лише початкові, дискретні, відокремлені

та статичні дані. Тобто, фактично, набору первинних даних, що потребують подальшого опрацювання.

Для створення високоефективної системи отримання та обробки великого обсягу даних в режимі реального часу або пост обробки необхідним є поєднання технічних засобів з відповідним програмним забезпеченням. На сучасному етапі проводяться роботи щодо створення відповідного програмного забезпечення. Отримані результати представлено в роботах [15, 16]. Створене програмне забезпечення відзначається відносною простотою, але, поки що, працює лише в режимі постобробки. Доцільним є створення вимірювальної системи, яка працює в режимі реального часу та має зручні інструменти візуалізації досліджуваного процесу та поточних даних, а також включає потужні засоби обробки первинних даних з можливістю автоматичного формування бази даних трибологічних характеристик матеріалів.

Висновки

Таким чином, широке впровадження інформаційних технологій в частині кількісної цифрової фотографії в практику наукових досліджень й, зокрема, трибологічних, в частині метрологічного забезпечення безумовно сприяє підвищенню рівня якості, наочності, інформативності та збереженості отриманих наукових результатів, а наведені методологічні принципи формують необхідну базу для запровадження інформаційних технологій шляхом створення комп'ютеризованих фотовимірювальних апаратно-програмних комплексів. Застосування фотовимірювального методу є високоефективним методом метрологічного забезпечення трибологічних досліджень. В роботі проаналізовані можливості покращення інформативності, якості, точності та достовірності трибологічних досліджень. Як один з напрямків вирішення цієї проблеми запропоновано застосування інформаційних технологій щодо метрологічного забезпечення досліджень на основі засобів цифрової фотографії, комп'ютерної техніки та відповідного програмного забезпечення. Наведено результати застосування запропонованого підходу при проведенні конкретних трибологічних досліджень та підтверджена його ефективність. Відзначено існуючі недоліки та запропоновано напрямки подальших досліджень.

Література

1. Куликовский К.Л. Методы и средства измерений / К.Л. Куликовский, В.Я. Купер. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 448 с.
2. Гаркунов Д.Н. Триботехника / Гаркунов Д.Н. – М. : Машиностроение, 1989. – 328 с.
3. Пасічник О.А. Інформаційні технології в трибології / О.А. Пасічник // Матеріали Першої МНПК "Науковий потенціал світу 2004". Том 58. "Сучасні інформаційні технології". – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2004. – С. 27–29.
4. Пасічник О.А. Проблеми та перспективи комп'ютеризації наукових досліджень / О.А. Пасічник // Матеріали Першої МНПК "Науковий потенціал світу 2004". Том 58. "Сучасні інформаційні технології". – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2004. – С. 52–53.
5. Пасічник О.А. Деякі методологічні аспекти застосування кількісної цифрової фотографії в наукових дослідженнях / О.А. Пасічник // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції "Дні науки 2006". Том 30. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2006. – С. 10–12.
6. Пасічник О.А. Кількісна цифрова фотографія при трибологічних дослідженнях / О.А. Пасічник // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 5(96). – С. 45–49.
7. Пасічник О.А. 3D візуалізація та проблеми комп'ютерного моделювання в трибологічних дослідженнях / О.А. Пасічник // Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції "Наука і освіта 2005". Том 56. Сучасні інформаційні технології. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2005. – С. 24–26.
8. Чибисов К.В. Общая фотография / Чибисов К.В. – М. : Искусство, 1984. – 446 с.
9. Пасічник О.А. Фотографічний метод вимірювань при трибологічних дослідженнях / О.А. Пасічник // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 2(108). – С. 173–175.
10. Пасічник О.А. Застосування кількісної цифрової фотографії при трибологічних дослідженнях / О.А. Пасічник // Тези доповідей VI-ї міжнародної конференції молодих науковців "Інформатика і механіка". – 2008. – С. 19–20.
11. Бабак О.П. Повышение износостойкости трибосопряжений путем формирования маслоудерживающего профиля / О.П. Бабак, А.Г. Кузьменко, А.А. Пасечник // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2002. – № 4. – Ч. 1. – С. 7–12.
12. Кузьменко А.Г. Дослідження динаміки руху мастильної краплі по пласкій поверхні / А.Г. Кузьменко, О.П. Бабак, О.А. Пасічник // Проблеми трибології. – 2007. – № 2. – С. 91–94.
13. Кузьменко А.Г. Дослідження ефективності профілю змащувальної канавки / А.Г. Кузьменко, О.П. Бабак, О.А. Пасічник // Проблеми трибології. – 2007. – № 3. – С. 3–5.
14. Кузьменко А.Г. Центробежная смазка поверхности / А.Г. Кузьменко, О.П. Бабак, О.А. Пасічник // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 5(96). – С. 49–52.
15. Кузьменко А.Г. Експериментальні дослідження руху мастильного матеріалу із застосуванням комп'ютерних технологій візуалізації та реєстрації / А.Г. Кузьменко, О.П. Бабак, О.А. Пасічник, А.Б. Даньков // Проблеми трибології. – 2007. – № 1. – С. 135–139.
16. Пасічник О. А. Автоматизація трибологічних досліджень на основі комп'ютеризованої фотовимірювальної системи / О.А. Пасічник, О.П. Бабак, В.М. Алешко // Проблеми трибології. – 2009. – № 3. – С. 101–103.

Рецензія/Peer review : 9.7.2016 р. Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Сорокати́й Р.В.

МЕТОД АНАЛІЗУ СКЛАДНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

Наведено обґрунтування необхідності використання загальної теорії диференціальних рівнянь як єдиного математичного апарату для аналізу динамічних і статичних процесів, визначення статичної стійкості та параметричної чутливості динамічної системи.

Ключові слова: динамічна система, задачі аналізу, задачі синтезу, крайова задача, чутливість до початкових умов.

L.A. BILYI, G.Y. DUTKA
Lviv Institute of Economy and Tourism

ANALYSIS METHOD OF COMPLEX DYNAMIC SYSTEMS

The authors of the article have presented the justification for the use of the general theory of differential equations as the single mathematical tool to analyze static and dynamic processes, determine the static stability and parametric sensitivity of a dynamic system. The calculating algorithm of the static processes is based on the solution of two-point T -periodic boundary value problem.

After finding the static process based on the same algorithm we determine the stability of the system. The calculating algorithm of the parametric sensitivity is reduced to the Cauchy problem –integration of a system of linear differential equations of the parametric sensitivity.

Keywords: dynamic system, tasks of analysis, problems of synthesis, boundary value problems, sensitivity to initial conditions.

Вступ

Стрімкий розвиток математичного моделювання, обумовлений прогресом обчислюваної техніки та широким використанням теоретичних підходів у різноманітних галузях науки, сприяє її математизації. При цьому важливу роль відіграють “системний підхід”, “системний аналіз” та інші напрямки наукової думки, пов’язані з поняттям динамічної системи як математичної моделі, використовуваної для формального опису різноманітних реальних об’єктів і процесів. Математична модель динамічної системи звичайно представляє собою сукупність диференціальних рівнянь, звичайних чи з частинними похідними. Теорія лінійних систем є практично завершена. На відміну від цього, теорія нелінійних динамічних систем знаходиться поки що в стані формування і перевірки методик аналізу лише окремих типів нелінійних моделей.

І хоча нові дослідження пов’язані з поняттям динамічної системи в широкому розумінні, включаючи об’єкти, що описуються стохастичними функціональними співвідношеннями, якісна теорія звичайних диференціальних рівнянь залишається основним інструментом розв’язування багатьох практичних задач. Це пояснюється наявністю розвинутого аналітичного апарату і числових методів розв’язування звичайних диференціальних рівнянь, наявністю доступних якісних методів дослідження розв’язків звичайних диференціальних рівнянь, зокрема методів оцінки стійкості, аналізу поведінки розв’язків довкола особливих точок тощо.

Постановка проблеми

Найважливішими задачами дослідження складних систем являються задача синтезу, яка полягає у визначенні структури й основних параметрів системи за заданими її властивостями, і задача аналізу, в якій за відомою структурою і відомими параметрами системи вивчається її поведінка, тобто досліджуються властивості системи та її характеристики. Ці задачі є взаємно зворотними і, як правило, розв’язуються сумісно, зокрема задачі синтезу як більш складні найчастіше зводяться до багатократного розв’язання задач аналізу.

У свою чергу, аналіз складних систем включає в себе такі задачі: розрахунок статичного стану системи; розрахунок перехідного процесу системи; визначення стійкості системи; аналіз параметричної чутливості системи.

Статичний стан системи можна аналізувати двома способами.

Перший спосіб оснований на розв’язуванні алгебраїчних рівнянь, отриманих із системи диференціальних рівнянь, що описують перехідні процеси в системі. Алгебраїзація диференціальних рівнянь найчастіше виконується методом кінцевих різниць.

Другий спосіб базується на розв’язанні диференціальних рівнянь з врахуванням того, що статичний режим є граничним, до якого прямує перехідний процес при затуханні, тобто при $t \rightarrow \infty$.

Метою розрахунку перехідних процесів у складних системах є визначення часу встановлення статичного стану під дією зовнішніх факторів і зміни параметрів системи.

Для числового інтегрування звичайних диференціальних рівнянь існує багато різноманітних методів. Цей математичний апарат принципово відмінний від апарату розв’язування алгебраїчних рівнянь.

Визначення стійкості розв’язків диференціальних рівнянь – один із основних етапів задачі аналізу будь-якої системи. Строге розв’язування задачі перевірки стабільності і рівноваги в динамічних системах вимагає, по-перше, складання лінеаризованих диференціальних рівнянь малих коливань для всіх елементів системи і, по-друге, складання характеристичного рівняння вимагає їх обчислення і є надто трудомістким.

Отже, очевидним є той факт, що математичний апарат, який використовується для визначення стійкості, цілком відмінний від тих, які використовувались для розрахунків статичного стану і періодичних процесів системи.

Розглянемо тепер математичний інструментарій аналізу параметричної чутливості.

Однією з важливих задач аналізу елементів складних систем є математична оцінка правильності вибору її параметрів, а також визначення значень максимально можливих допусків на ці параметри. Для цього необхідно дослідити чутливість якісних показників елементів до зміни параметрів системи, застосовуючи методи теорії чутливості.

Ступінь впливу конкретного параметра системи на конкретну вихідну характеристику може бути різним. Під час оптимізації параметрів системи з точки зору статичних станів, перехідних процесів і допусків на зміну вхідної інформації необхідно вміти вибрати параметр, зміна котрого максимально впливає на вибрану для покращення вихідну характеристику. Проте зміна одного параметра може вплинути на зміну декількох вихідних характеристик, причому покращення однієї з них може супроводжуватись погіршенням інших. Тому оптимізація системи повинна базуватися на чіткій інформації про кількісний зв'язок вихідних характеристик з параметрами системи.

Основними методами аналізу параметричної чутливості є варіаційний і регресивний методи, а також методи пристроїв і прямий. Усі ці методи є надто складними.

Таким чином розрізненість математичного апарата, що застосовується на кожному з етапів аналізу, не дає змоги побудувати єдиний алгоритм, а тому симулювання вимагає створення для кожної задачі окремих складних програм.

Крім того, спеціаліст з моделювання складних систем мусить володіти великою кількістю різноманітних математичних методів – теорії ймовірностей, математичної статистики й інформації, дискретної математики і математичного аналізу, числового розв'язування звичайних диференціальних рівнянь, вищої алгебри, математичної логіки і теорії алгоритмів, теорій випадкових процесів і масового обслуговування, структурної і параметричної оптимізації, моделювання і обчислювальної техніки.

Метою даного дослідження є розробка на основі загальної теорії диференціальних рівнянь єдиних алгоритмів, які на підставі ідентичного математичного апарата здійснювали б розрахунки перехідних і статичних процесів, визначали стійкість системи, а також параметричну чутливість як взаємопов'язані задачі аналізу.

Основний розділ

Нехай система звичайних диференціальних рівнянь, записана в нормальній формі, тобто у вигляді рівнянь, розв'язаних відносно похідних, має вигляд

$$\frac{dy_i}{dx} = f_i(x, y_1, y_2, \dots, y_n), i = 1, 2, \dots, n \text{ або } \frac{dy}{dx} = f(x, y). \quad (1)$$

Однозначність розв'язку забезпечують додаткові умови в одній або декількох точках інтервалу $[a, b]$. У випадку однієї точки ці умови найчастіше задають на початку інтервалу і називають їх початковими умовами

$$y_i|_{x=a} = y_i(a), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

Систему рівнянь (1) з початковими умовами (2) називають задачею Коші. У випадку двох точок ці умови найчастіше задають на краях інтервалу і називають їх крайовими умовами

$$y_i|_{x=a} = y_i(a); y_i|_{x=b} = y_i(b); i=1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

Система рівнянь (1) разом з крайовими умовами (3) утворюють двоточкову крайову задачу. Важливим узагальненням постановки цієї задачі є випадок періодичних крайових умов

$$y_i(a) = y_i(b), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

Задача пошуку періодичного розв'язку диференціальних рівнянь полягає у розв'язанні двоточної крайової задачі (1), (4). Періодичні розв'язки можна знайти, розв'язуючи задачу Коші, якщо вдається отримати достатню кількість крайових умов на одному з кінців інтервалу інтегрування (при $x = a$ або $x = b$), тобто якщо можна отримати значення всіх n шуканих функцій $y_i(x)$ в точках a або b . Але при цьому необхідно виконати великий об'єм обчислень, а в разі довготривалих перехідних процесів виникає проблема точності, пов'язана з накопиченням похибок інтегрування.

Уникнути вказаних труднощів можна, розв'язуючи крайову задачу (1), (4) методом побудови моделі чутливості до початкових умов.

Для зручності прийемо точку $a = 0$, а умови (4) запишемо у вигляді

$$F(y(0)) = y(0) - y(b) = 0. \quad (5)$$

Рівняння періодичності (5) називають рівнянням цілі.

Вирази (1), (5) становлять двоточкову b -періодичну крайову задачу для системи диференціальних рівнянь.

Існують такі початкові умови $y(0)$, які при інтегруванні (1) на інтервалі від 0 до b дають змогу виключити перехідну реакцію і отримати безпосередньо періодичний розв'язок. У такій постановці задачі початкові умови стають шуканими величинами, які є аргументами рівнянь цілі (5).

У випадку нелінійних диференціальних рівнянь система трансцендентних рівнянь (5) також буде нелінійною. Задачу визначення початкових умов можна розбити на три етапи: знаходження ефективного метода обчислення $F(y(0))$, вибір відповідного ітераційного метода для розв'язування рівняння (5) і підбір відповідного початкового наближення для $y(0)$.

Для розв'язування системи рівнянь (5) доцільно використовувати формулу Ньютона [1]

$$y(0)^{k+1} = y(0)^k - [F'(y(0)^k)]^{-1} \cdot F(y(0)^k). \quad (6)$$

Матрицю Якобі $F'(y(0))$ отримаємо диференціюванням по $y(0)$ цільової функції (5)

$$F'(y(0)) = E - \Phi(y(0), b), \quad (7)$$

де
$$\Phi(y(0), b) = \frac{\partial y(y(0), b)}{\partial y(0)}. \quad (8)$$

Матрицю (8) називають матрицею чутливостей змінних моделі до своїх початкових значень [2].

Визначення матриці чутливостей є складною проблемою аналізу. Порівняно недавно був розроблений метод, який приводить до варіаційних рівнянь. Їх отримаємо диференціюючи (1) по $y(0)$ [3]

$$\frac{d\Phi(y(0), b)}{dx} = \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \Phi(y(0), b). \quad (9)$$

Алгоритм обчислень. 1. Маючи на k -й ітерації значення вектора $y(x)^k$ і матриці $\Phi(y(0), b)^k$ (на першому кроці початкові наближення $y(0)^0$, $\Phi(y(0), b)^0$), інтегруємо рівняння (1), (9) на інтервалі $[0, b]$. Виходячи з (7), значення $\Phi(y(0), b)$ дорівнює одиничній матриці E . 2. Маючи значення $y(b)^k$ і $\Phi(y(0), b)^k$, згідно з (5) обчислюємо $F(y(0)^k)$, а згідно з (7) – $F'(y(0)^k)$.

Висновки

Базуючись на загальній теорії диференціальних рівнянь, запропоновано єдиний підхід до розв'язання основних задач аналізу складних систем – розрахунку статичного стану і перехідного процесу, визначення стійкості та аналізу параметричної чутливості.

Для розрахунку перехідного процесу розв'язується задача Коші при $a \rightarrow \infty$ теоретично, а практично задається якесь велике число.

Алгоритм розрахунку статичних процесів здійснюється на основі розв'язування двоточної T -періодичної крайової задачі.

Після знаходження статичного процесу на підставі того ж алгоритму визначається стійкість системи. Для цього необхідно алгоритм доповнити стандартною підпрограмою обчислення мультиплікаторів матриці чутливості до початкових умов.

Алгоритм розрахунку параметричної чутливості зводиться до задачі Коші – інтегрування системи лінійних диференціальних рівнянь параметричної чутливості.

Література

1. Ортега Дж. Итерационные методы решения нелинейных систем уравнений со многими неизвестными / Дж. Ортега, В. Рейнболдт. – М. : Изд-во «Мир», 1975. – С. 180–185.
2. Петренко А.И. Основы автоматизации проектирования / Петренко А.И. – К. : Техніка, 1982. – С. 145–146.
3. Білий Л.А. Аналіз стаціонарних режимів нелінійних кіл при невідомому періоді реакцій / Л.А. Білий // Технічні вісті – 2001. – № 1 (12). – С. 52–53.

Рецензія/Peer review : 5.7.2016 р. Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТОРЦЕВИХ ФРЕЗ ДЛЯ ЧИСТОВОГО РІЗАННЯ

Визначено основні проблемні питання, що виникають під час чистового торцевого фрезерування плоских поверхонь деталей. Запропоновано шляхи удосконалення конструкції торцевих фрез для зазначених умов. Розроблено прогресивну конструкцію торцевої фрези зі східчастим розташуванням ножів на корпусі, з удосконаленою конструкцією хвостовика.

Ключові слова: чистове фрезерування, торцеве фрезерування.

N.O. BALYTSKA, L.YE. GLEMBOTSKA

Zhytomyr State Technological University, Zhytomyr, Ukraine

WAYS OF IMPROVEMENT OF CONSTRUCTION OF FACE MILLS FOR FINISH CUTTING

In this article the basic problem questions that arise up in the process of the finishing face milling, identified design flaws standard face milling cutters and proposed the ways of their elimination. The construction of face milling cutter is worked out with the without top shape blade knives convex front and a flat back of the blade, toroidal tool body, improved construction shank with a small belt of increased susceptibility. In the process of treatment a face milling cutter the step chart of cutting away of assumption will be realized in the conditions of the oblique-angled cutting. The use of the improved construction of the shank allows reducing the degree of precision of the value of the cone of 7 to 8, and achieving results that correspond to the connection accuracy AT4, AT6. Experimentally, the new design of face milling cutters provides Ra 1,2 micron and 25 micron deviation from flatness. This provides improved performance processing of flat surfaces of 2.9 times compared to the double grinding.

Keywords: finish milling, face milling.

Постановка проблеми. Підвищення вимог до якості плоских поверхонь обумовлює необхідність подальшого дослідження процесу чистового торцевого фрезерування. Цей процес характеризується складними умовами: несприятливими дійсними геометричними параметрами різальних кромок фрез, високими питомими силами різання та їх значними коливаннями, чутливістю до биття різальних кромок інструмента та їх ударними навантаженнями, високою швидкістю та температурою в зоні різання, недостатньою стійкістю фрез та ін. Окремою проблемою сучасного вітчизняного машинобудування є не завжди задовільний технічний стан металорізального обладнання та оснащення ряду підприємств, а саме складність забезпечення високої точності встановлення і позиціонування інструмента та заготовки на верстаті. У зв'язку із зазначеним виникає необхідність проектування торцевих фрез (ТФ) менш чутливих, ніж стандартні, до зазначених умов чистового різання та похибок обладнання. Особливо це важливо при обробці плоских точних протяжних поверхонь, які є переважно спряженими і характеризуються високими вимогами до їх якості ($R_a \leq 1,6$ мкм).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Чистове торцеве фрезерування характеризується глибиною різання t в межах 0,75...2 мм, значенням шорсткості R_a 10...1,25 мкм та відхиленням від площинності обробленої поверхні – 0,04...0,08 [1].

Питанням обробки металів з малими товщинами зрізу присвячені роботи таких авторів: Зорєв Н.Н., Горецька З.Д., Маргуліс Д.К., Синопальников В.А., Strempel H., Engelhard W., Deguer W., Victor H., Blanck D. та ін. Цими роботами встановлено, що зі збільшенням товщини зрізу від 0,001 до 1 мм (в 1000 разів), питомий тиск в зоні різання зменшується від 2,15 до 0,02 ГПа відповідно, тобто майже в 100 разів. Це пояснюється тим, що при малій товщині зрізу перетворення окремого шару припуску у стружку проходить не по передній поверхні, а по перехідній (по дузі радіуса заокруглення). В результаті цього дійсний передній кут суттєво зменшується і може досягати значень $-10...-70^\circ$. Як наслідок, зменшується величина кута зсуву та збільшується площа поверхні зсуву, а отже, зростають питомі сили різання. Таким чином, для ефективного руйнування припуску необхідно зрізати зменшені за шириною і збільшені за товщиною шари зрізу (рис. 1), що можливо реалізувати за рахунок східчастих схем різання.

На сьогоднішній день відомими вченими пропонуються конструкції торцевих фрез з розташуванням ножів по логарифмічним спіралям, спіралям Архімеда [2–5] та Ферма [6], що призводить до більш рівномірного навантаження на ножі ТФ, збільшення кількості ножів, що беруть участь в різанні. Загальною рисою робіт [3–5] є використання різальних ножів з плоскою передньою і циліндричною задньою поверхнями та встановлення різного вильоту ножів відносно поверхні корпусу ТФ, а також виконання конічної загальної поверхні різання. Проте через велику різницю в швидкостях різання окремими ножами (на найменшому та найбільшому діаметрах) має місце їх нерівномірне зношування. Крім того, велика різниця в діаметрах, на яких розташовані перший та останній ножі, обумовлює зменшення ширини оброблюваної деталі або збільшення габаритів фрези. Тому для подолання вказаних недоліків автором в попередніх дослідженнях було запропоновано загальній поверхні різання надати торової форми за рахунок використання тороїдального корпусу ТФ [6], що дає можливість виконання установки ножів з однаковим вильотом.

Відомі східчасті «човникові» схеми різання ТФ [7, 8] дозволяють ділити припуск за шириною зрізу, завдяки чому навіть при невеликій глибині різання кожним ножом досягається значна загальна глибина різання. Але більш важливою перевагою цих ТФ перед стандартними є менша чутливість до биття різальних кромek ножів, внаслідок переважного різання кожним ножом по власному сліду. При реалізації на ТФ «човникових» східчастих схем різання ножі розташовуються на спіралях різного напрямку або на двох півколах (коло зі зміщеним відносно осі обертання центром). Таке різне розташування ножів може розглядатись як конструктивна подача [9–11] з різним знаком. Взаємодія конструктивної з робочою кінематичною подачею створює різні за величиною товщини зрізу на кожен ніж.

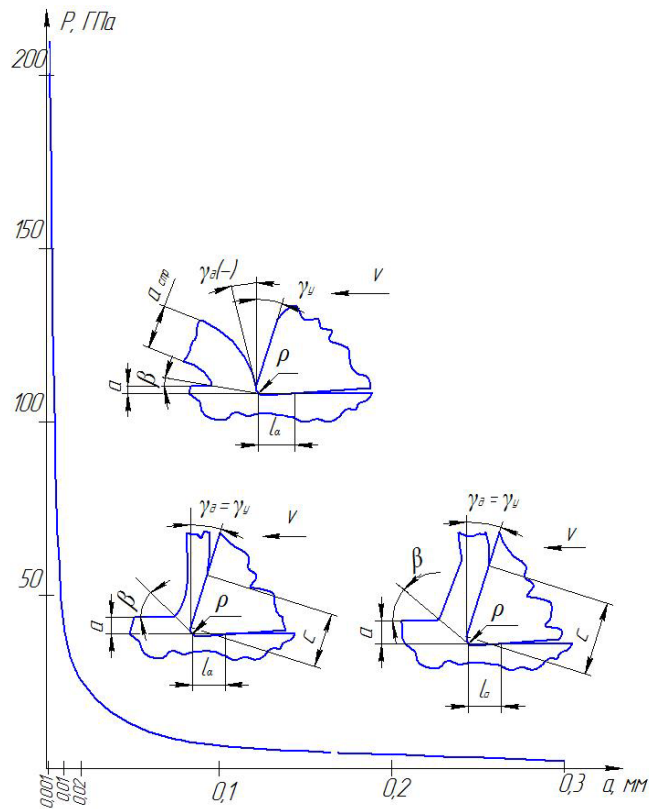


Рис. 1. Вплив товщини зрізу на питому силу різання

Особливістю роботи торцевих фрез зі східчастими схемами різання є забезпечення значного загального припуску на обробку із одночасно малими глибинами різання на кожен ніж. При цьому ножі фрези працюють в умовах тонкого або чистового різання.

Враховуючи аналіз переваг та недоліків вказаних відомих прогресивних схем різання ТФ можна зробити висновок про недоцільність їх використання в умовах чистового різання.

Крім того, задача підвищення точності установки ТФ на верстатах на сьогоднішній день вирішується за рахунок підвищення вимог до точності верстата та технічного оснащення. Проте питання удосконалення конструкції хвостової частини ТФ є малодослідженими і потребують вирішення. В роботі автора [24] запропонована удосконалена конструкція порожнистого хвостовика з серединною проточкою з двома посадковими поясками за рахунок чого загальна величина заглиблень фрези в оброблену поверхню буде досягати 0,02...0,03 мм – це особливо важливо для чистового фрезерування.

На основі вищезазначеного виникає необхідність розробити конструкцію ТФ для чистового фрезерування менш чутливу до биття різальних кромek інструмента, та яка забезпечить більш точне та жорстке з'єднання із шпинделем верстата, ніж стандартні фрези.

Метою статті є визначення шляхів удосконалення конструкції торцевих фрез та розробка прогресивної конструкції торцевої фрези для чистового різання.

Викладення основного матеріалу. Аналіз роботи торцевих фрез стандартних конструкцій вказує на наступні їх недоліки (рис. 2): биття різальних кромek; вершинна форма лез ножів; мала кількість як загальних, так і активних різальних ножів. В результаті биття деякі з ножів можуть взагалі не брати участі у різанні. Частина ножів тільки дотикаються до поверхні різання, викликаючи тертя, внаслідок чого нагріваються самі, створюють умови для нагрівання наступного ножа, а також проводять тепло далі у корпус фрези. Такі ножі більш інтенсивно зношуються, наклепують поверхневий шар, збільшуючи міцність і напруження в поверхні різання.

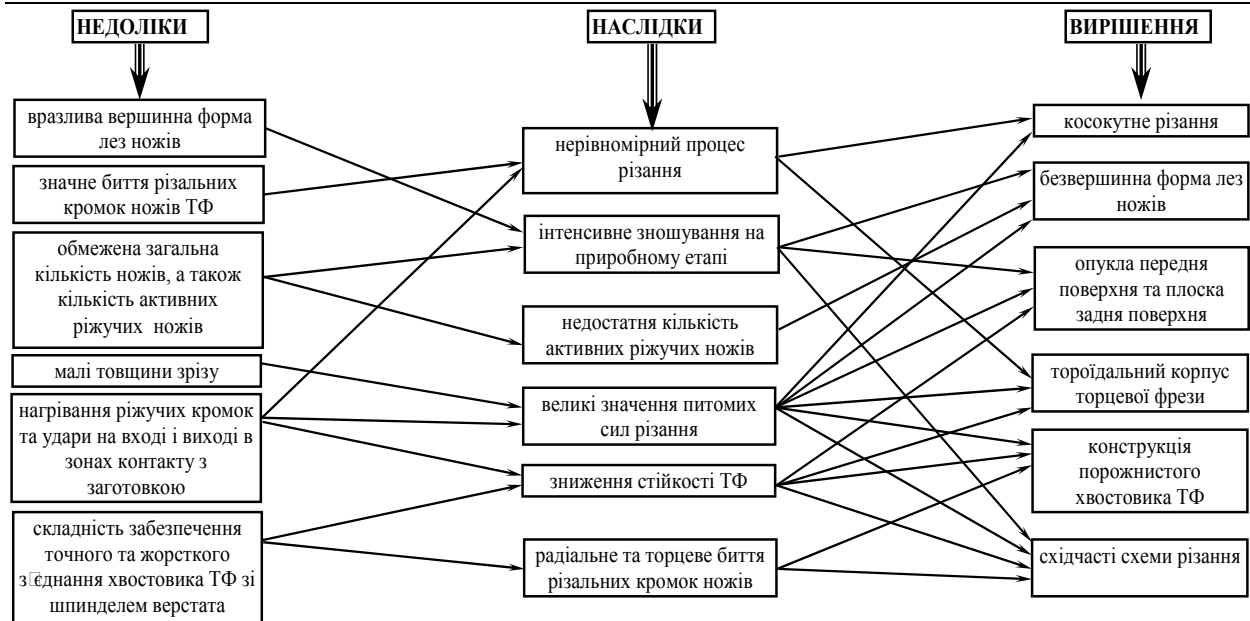


Рис. 2. Недоліки конструкцій стандартних торцевих фрез для чистового різання та шляхи їх вирішення

Знизити вплив вищеназаних негативних явищ на характеристики оброблюваної поверхні можна конструктивним шляхом – як удосконаленням конструкції фрези за рахунок використання раціональної форми різальної частини ножів та типу різання, конструкції фрези та хвостовика, реалізації східчастої схеми різання, так і за рахунок підвищення жорсткості та точності з'єднання зі шпинделем верстата.

«Відкрита» форма загальної поверхні [13] забезпечує найменшу чутливість до зміни величини припуску та дозволяє отримати найменшу шорсткість отриманої поверхні.

Серед можливих форм корпусів ТФ у вигляді тіл обертання найкращою буде тороїдальна, тому, що робота ножа, який обробляє зовнішню поверхню заготовки, характеризується кутом в плані близьким до прямого, що визначає мінімальне копіювання поверхні заготовки на поверхні деталі. Ніж, який обробляє поверхню деталі, має нульовий кут в плані, а напівчистовий ніж – незначний кут в плані. Завдяки розташуванню цих ножів на колі тора чистовим ножом зрізається мала товщина зрізу, що визначає високу якість поверхневого шару. Конструктивною перевагою тороїдального корпусу є також можливість легкого встановлення ножів з однаковим вильотом відносно корпусу, чим забезпечується однакове навантаження кожного з ножів. В роботі [13] автора запропоновано використання ТФ з тороїдальним корпусом для умов чистового різання з розташуванням ножів по спіралі Ферма.

Як відомо, визначальний вплив на зношування ножів торцевих фрез здійснюють нагрівання різальних кромок та удари на вході і виході в зонах контакту із заготовкою [14, 15, 16, 17]. Таке зношування варто розглядати як термомеханічне руйнування матеріалу різальної частини ножів. Для зниження динамічного навантаження при вході і виході ножів із зони контакту з заготовкою в роботі [13] автор рекомендує використовувати негативні передні кути та збільшені кути нахилу різальної кромки ножів торцевих фрез, тобто косокутне різання.

Оскільки найбільш інтенсивно зношуються саме вершини різальних кромок ножів торцевих фрез, то варто використовувати їх безвершинну форму.

Процес руйнування будь-якого матеріалу тиском, різанням тощо, в тому числі при знятті припуску, можна регулювати шляхом керування його напруженим станом [18]. Тобто шар припуску, що зрізається стандартними інструментами має звичайний всебічно стиснутий стан, тому необхідно сформувати такий напружений стан, який характеризувався б меншим гідростатичним тиском [19]. Конструктивно це можна вирішити шляхом виконання передньої поверхні різальної частини ножа опуклою, а задньої – плоскою [20].

Найбільша інтенсивність зношування різальної частини ножів спостерігається на приробному етапі, що суттєво обмежує загальну стійкість ТФ [21]. В свою чергу, різальні кромки ножів в початковому стані мають найбільшу різальну здатність. Явище інтенсивного приробного зношування може бути пояснене невисокою динамічною сталістю процесу фрезерування та високою вразливістю гострих різальних кромок. Вирішення вказаної проблеми полягає в створенні «пом'якшеної» динаміки процесу фрезерування, тобто у зменшенні похідних зміни сил та миттєвих швидкостей при ударних процесах. Для зниження ударів варто зменшувати маси за рахунок зменшення об'ємів ТФ та/чи використання матеріалів корпусу ТФ з малою питомою вагою, та підвищувати жорсткість зв'язку ТФ зі шпинделем верстата.

Останнім часом провідними європейськими виробниками розроблені конструкції порожнистих конічних хвостовиків, які отримують більш широке застосування [22, 23]. Перевагами таких хвостовиків над звичайними конічними хвостовиками є: менша довжина та маса; приблизно в два рази більша сила затискання; допустимі частоти обертання перевищують 8000 хв⁻¹; висока статична та динамічна жорсткість; є можливість стискного деформування для відповідності профілю поверхні отвору шпинделя; можуть

передаватися високі крутні моменти; максимальна точність заміни елементів інструментальної системи; точність повторення при встановленні; короткий час на заміну; мінімальне радіальне биття. Автором пропонується удосконалення хвостовика [24], за рахунок порожнистої конструкції та зменшення стискної жорсткості, що забезпечує зміну величин жорсткості від мінімальної (40 кН/мм) при малих навантаженнях, до максимальної (2 МН/мм) – при найбільших навантаженнях.

Причиною ударних процесів може бути як одночасність входу і виходу всіх точок різальних кромок в припуск заготовки, що має місце при ортогональному різанні, так і биття різальних кромок [21], що призводить до нерівномірного фрезерування. Відомо [12], що допуски на радіальне биття двох суміжних і протилежних різальних кромок ножів ТФ складають 0,02...0,15 мм, а на торцеве биття – 0,02...0,1 мм. З одного боку, ці величини через співставність з товщиною зрізу є значними для досягнення рівномірного різання, а з іншого – такі величини биття різальних кромок при експлуатації ТФ є майже недосяжними. Першим способом подолання вказаних недоліків може бути зменшення навантаження на кожен ніж фрези. Другим – підвищення участі роботи ножів в різанні за рахунок використання східчастих схем різання, які характеризуються переважно поділом ширини (в напрямку глибини різання) зрізу, тоді як схеми різання стандартних ТФ – поділом товщини (в напрямку подачі) зрізу.

При косокутному різанні ножами з безвершинною формою нахиленої різальної частини цей недолік частково знімається. Але більш повне зняття впливу биття буде мати місце завдяки використанню східчастої схеми різання [13]. Крім того, східчасті схеми різання характеризуються участю практично всіх ножів в різанні, що також свідчить про підвищення продуктивності обробки.

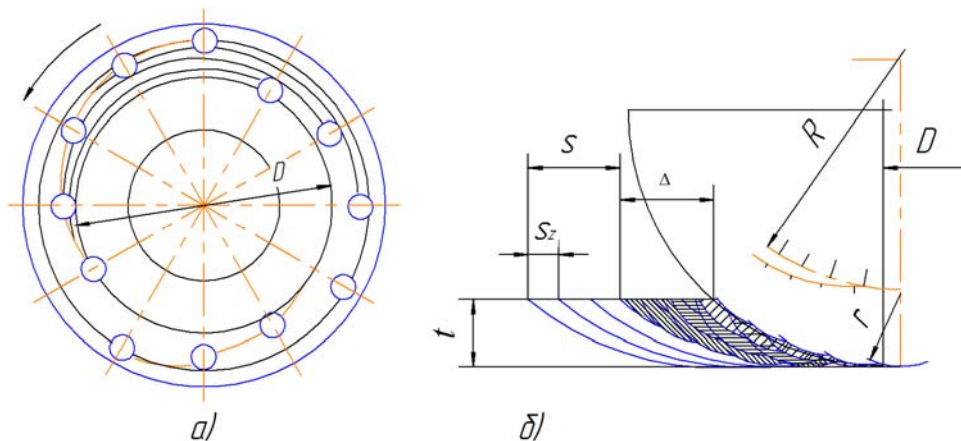


Рис. 3. Розташування ножів на корпусі торцевої фрези (а) та схема різання (б)

На основі вищезазначеного було удосконалено конструкцію торцевої фрези для чистового різання. Під час експерименту була обрана попутна схема фрезерування, яка характеризується меншим виділенням тепла, більшою стійкістю ТФ, меншою шорсткістю поверхні та меншими навантаженнями на шпиндель верстата.

Обробка заготовки розмірами 82×250×62 мм зі сталі 35ХГСА загартованої до твердості 47...52 HRC_e проводилася удосконаленою торцевою фрезою з циліндричними ножами з надтвердого матеріалу (гексаніт-Р) на вертикально-фрезерному верстаті моделі 6Р12 (доведеному до відповідної норми точності (Н)). Режими різання: $v = 135 - 151$ м/хв, $s = 33 - 35$ мм/хв та загальний припуск на обробку $t = 0,8 - 1,1$ мм.

В результаті проведених досліджень забезпечено: шорсткість $R_a = 1,2$ мкм та відхилення від площинності $\Delta = 25$ мкм. При цьому глибина різання на кожен ніж знаходиться в межах від 0,04 мм до 0,43 мм, а товщина зрізу до 0,01 мм. Впровадження запропонованої торцевої фрези [24] удосконаленої конструкції призводить до підвищення якості механічної обробки та продуктивності (в 2,9 разу) порівняно із двократним шліфуванням.

Висновки. В роботі виділено основні проблемні питання, що виникають в процесі чистового торцевого фрезерування, визначено конструктивні недоліки стандартних торцевих фрез та запропоновано шляхи їх усунення. Серед них: застосування косокутного різання, безвершинної форми лез ножів, опуклої передньої та плоскої задньої поверхні ножів, тороїдального корпуса торцевої фрези, східчастих схем різання. Розроблено торцеву фрезу для чистового різання з удосконаленою конструкцією хвостовика з малим пояском підвищеної податливості, що дозволяє знизити ступінь точності виконання величини конуса з 7 до 8 та досягти результатів, які відповідають з'єднанню за ступенем точності АТ4–АТ6. Експериментально встановлено, що нова конструкція торцевої фрези забезпечує шорсткість R_a 1,2 мкм та відхилення від площинності $\Delta = 25$ мкм. При цьому забезпечується підвищення продуктивності обробки плоских поверхонь деталей в 2,9 рази порівняно із двократним шліфуванням. В подальшому передбачається провести дослідження процесу торцевого фрезерування в більш широкому діапазоні режимів різання.

Література

1. Чучман Ю.І. Технологія машинобудування для електромеханіків / Ю.І. Чучман. – Львів : Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2001. – 348 с.
2. Сенькин Е.Н. Конструкции и эксплуатация фрез, оснащенных композициями / Е.Н. Сенькин, Г.В. Филиппов, А.В. Колядин. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – С. 34–37.
3. Виговський Г.М. Процес різання торцевими ступінчастими фрезами з косокутною геометрією різальних частин, що оснащені надтвердими матеріалами (НТМ) / Г.М. Виговський, П.П. Мельничук // Вісник ЖІТІ. Технічні науки. – Житомир, 1998. – № 7. – С. 73–81.
4. Виговський Г.М. Використання кінематичних схем різання при чистовому торцевому фрезеруванні / Г.М. Виговський, О.А. Громовий, П.П. Мельничук // Вісник ЖІТІ. Технічні науки. – Житомир, 2000. – № 13. – С. 18–25.
5. Виговський Г.М. Розрахунок сил різання при обробці деталей ступінчастими торцевими фрезами / Г.М. Виговський, О.А. Громовий, П.П. Мельничук // Вісник ЖІТІ. Технічні науки. – Житомир, 1999. – № 11. – С. 58–66.
6. А. с. 20040705233, МПК В 23 С5/06. Торцева ступінчаста фреза / Л.Є. Глембоцька. – № 17274/1 ; заявл. 01.07.2004 ; опубл. 19.06.06.
7. Лишинский Н.Я. Новые конструкции торцовых ступенчатых фрез с резцами из сверхтвердых материалов Н.Я. Лишинский // Сверхтвердые материалы. – 1980. – № 3. – С. 28–30.
8. Андреев В.Н. Конструкция и эксплуатация ступенчатых фрез с механическим креплением многогранных твердосплавных пластинок / Андреев В.Н., Тамбовцев С.С. – М. : ВНИИ, 1968. – С. 69–74. – (Фрезы: Сборник докладов всесоюзного совещания по фрезам).
9. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов : [учебник] / Петро Родіонович Родін. – К. : Вища шк., 1990. – С. 218–222.
10. Лашнев С.И. Проектирование режущей части инструмента с применением ЭВМ / Лашнев С.И., Юликов М.И. – М. : Машиностроение, 1980. – С. 19–24.
11. Лашнев С.И. Геометрическая теория формирования поверхностей режущими инструментами : монография / Лашнев С.И., Борисов А.Н., Емельянов С.Г. – Курск : Курск. гос. техн. ун-т, 1997. – С. 37–38.
12. Справочник инструментальщика / [под общ. ред. И.А. Ординарцева]. – Л. : Машиностроение. Ленинградское отд-ние, 1987. – С. 342–346, 349.
13. Глембоцька Л.Є. Схеми різання при обробці торцевими фрезами плоских поверхонь деталей з важкооброблюваних матеріалів / Л.Є. Глембоцька, П.П. Мельничук // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир, 2006. – № 3(38). – С. 3–10.
14. Андреев Г.С. Удар при прерывистом резании металлов / Андреев Г.С. – М. : Вестник машиностроения. – 1971. – № 3. – С. 65–68.
15. Андреев Г.С. Влияние тепловых и адгезионных явлений на работоспособность твердосплавного инструмента при прерывистом резании / Г.С. Андреев. – М. : Вестник машиностроения, 1974. – № 10. – С. 71–74.
16. Хае Г.Л. Режущие свойства торцовых твердосплавных фрез / Хае Г.Л., Ильченко И.Я. – М. : Вестник машиностроения. – 1971. – № 2. – С. 73–75.
17. Field Michael. Review of surface integrity of machined components / Field Michael, Kahles John F. – CIRP, 1971, 20, № 2, pp. 153–162.
18. Зорев Н.Н. Напряженное состояние в зоне стружкообразования / Зорев Н.Н., Дель Г.Д., Гольдшмидт М.Г., Дель В.Д. // Вестник машиностроения. – М., 1969. – № 7. – С. 71–73.
19. Армареги И. Дж. А. Обработка металлов резанием / Армареги И. Дж. А., Браун Р.Х. – М. : Машиностроение, 1977. – 325 с.
20. Глембоцька Л.Є. Моделювання силових залежностей при торцевому фрезеруванні / Глембоцька Л.Є., Мельничук П.П. // Вісник ТДТУ. – Тернопіль, 2008. – Том 13, № 3. – С. 79–87.
21. Ber A. Износ инструмента в первые секунды резания / Ber A., Kaldos S. – CIRP Ann. – 1982. – 31. – № 1, pp. 13–17.
22. HSK or CAT which tool holding solution is best? Mod. Appl. News. 2001, 35, № 2. pp. 20–23.
23. HSK–Schnitt–und Trennstelle // Masch. –Anlag.+Verfahr. 1995, № 3. pp. 46.
24. Пат. на винахід № 78120, МПК(2007) B23C5/02, B23C5/16. Різальний інструмент / Л.Є. Глембоцька. – № а 200504170, заявл. 29.04.2005 ; надр. 15.02.2007, Бюл. № 2.

Рецензія/Peer review : 10.6.2016 р.

Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Полонський Л.Г.

ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ГУМО-КОРДНИХ ВИСОКОНАПІРНИХ МУФТ ТРУБОПРОВОДІВ

В роботі розглянуто питання математичного моделювання деформування багатошарової гумо-кордної компенсаторної муфти трубопроводів. Дослідження проведено в рамках методу скінчених елементів із застосуванням процедури ітеративного субмоделювання. Представлено математичну модель оцінки накопичення втомної пошкоджуваності в даній конструкції, яка враховує можливу варіацію напружень в процесі експлуатації, а також процеси зміни характеристик опору втомі в матеріалах внаслідок природного старіння. Моделювання представлено в імовірнісній постановці. Отримано оцінки щодо надійності муфти.

Ключові слова: надійність, континуальна пошкоджуваність, МСЕ, гумо-кордні напірні муфти.

OLEKSIY LARIN

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

A RELIABILITY ANALYSIS OF RUBBER-CORD HIGH-PRESSURE PIPELINES CONNECTIONS

The paper deals with the mathematical modelling of deformation of the multilayer rubber-cord compensatory coupling of high-pressure pipes. The study has carried out on the base of finite element method using the iterative sub-modelling procedure. The models in three different scales have developed. The first model presents a general design with homogeneous orthotropic properties of reinforced ply. The last model presents a representative volume of pipe in the most deformed part and directly takes into account fibers in the composite ply. Such modelling allows to identify an internal stress and strain concentration in the most deformed part of the design. The mathematical model is presented for evaluating the accumulation of fatigue damage in this compensatory coupling. It takes into account the possible variation of stresses during operation, and processes of the reduction of fatigue resistance in rubber material of pipe as a result of aging. The modelling presented in a probabilistic statement, i.e. the amplitudes of stresses is set as random stationary process and the fatigue strength parameters of material are also set as random process. Analytical formulations have been found for probability density function of continuum damage parameter and integral representation for a probability of non-failure operation of the design. An assessment of the reliability of compensatory rubber-cord coupling of pipes has been analysed.

Keywords: reliability, continuum damage parameter, FEM, compensatory rubber-cord coupling of pipes.

Вступ

Багатошарові товстостінні труби з криволінійною геометрією, які виготовлені з губоподібних матеріалів широко використовуються в сучасній техніці. Наприклад, це компенсаторні гумові муфти трубопроводів, які застосовуються для з'єднання елементів трубопроводних систем, зокрема і частин, що знаходяться під «незручним кутом». Іншим прикладом є елементи напірних рукавів та шлангів, що застосовуються для перекачування пульпи, суспензій, абразивних сумішей та рідин під високим тиском, зокрема в системах гідравліки різних машин та механізмів.

З багатьох досліджень, що наведені в літературі відомо, що для різних шлангів, відводів та труб найпоширенішими типами відмов є пошкодження, що з'являються на поверхні [1] або між шарами шлангів [2, 3]. Дослідження показали, що в багатошарових шлангах відносно слабка між-фазна міцність, і в наслідок дії навантажень з'являються внутрішні початкові тріщини, які поступово переростають в зовнішній гумовий шар, що приводить до остаточного розриву [2, 3]. Узагальнюючи наведені дані, можна стверджувати, що робота механічних об'єктів, що вивчаються, як правило, відбувається при динамічному (циклічному) навантаженні, що призводить до накопиченню втомі в матеріалах.

Питанням оцінки характеристик опору втомі для різних матеріалів приділяється багато уваги в літературі, зокрема і питанням прогнозування втомної довговічності у губоподібних матеріалах [4]. Тут слід зазначити, що відомі експериментальні дані по залежностям кількості циклів до відмови від параметрів НДС вказують на те що завжди існує досить суттєвий статистичний розкид у визначенні матеріальних констант [5]. Отже, оцінка втомної довговічності реальних машинобудівних елементів конструкцій повинна враховувати наявність відповідного розкиду. Більше того експлуатація даних елементів конструкцій спряжена з протіканням деградаційних процесів в гумових матеріалах, які викликані хіміко-фізичними перетвореннями в матеріалі в наслідок впливу зовнішнього середовища та не пов'язані із навантаженням (старіння) [6]. Відповідні процеси суттєво впливають на поведінку матеріалу, зокрема істотно зменшують характеристики міцності за період часу, що є співставним із ресурсом по втомі. Звичайно, що попередній випадковий розкид експериментальних даних з часом в наслідок старіння не зникає.

Таким чином, при оцінці надійності відповідних елементів конструкцій існує необхідність одночасного врахування протікання процесів старіння та накопичення втомі враховуючи наявність випадкового розкиду характеристик опору втомі матеріалів. Крім того, є очевидним, що реальна експлуатація конструкцій має випадкову варіацію навантаження, яку слід враховувати при оцінці надійності конструкцій, взагалі і для гумових шлангів зокрема.

В даній роботі розглянуто підхід до оцінки експлуатаційної надійності багатошарових товстостінні труб криволінійної геометрії, які виготовлені з гумових матеріалів посилені текстильним кордом та використовуються як компенсаторні гумові муфти високонапірних трубопроводів.

Постановка задачі

В даній роботі розглядається задача прогнозування надійності гумо-кордної муфти трубопроводів високого тиску. У загальному виді оцінка надійності складається з трьох послідовних етапів: визначення характеристик НДС в умовах експлуатації, формування критерію відмови, що відповідає найбільш вірогідній причині можливих відмов системи та власне самої задачі визначення надійності, яка полягає у розрахунку ймовірності безвідмовної роботи конструкції, як функції часу. На рис. 1 представлена схема розв'язання задачі надійності, що умовно розділена на три етапи.

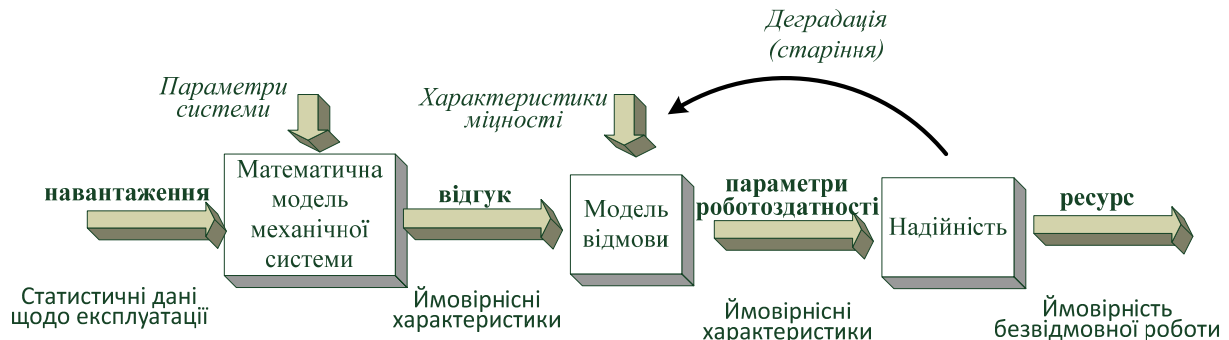


Рис. 1. Схема вирішення задачі надійності

В даній роботі **перший етап**, який полягає у визначенні відгуку системи на експлуатаційне навантаження, вирішується в рамках методу скінчених елементів (МСЕ). Задача розв'язується у статичній нелінійній детермінованій постановці в рамках тривірневого субмоделювання, яке дозволяє оцінити рівень внутрішньої концентрації деформацій в гумовій матриці композитного шару конструкції, який є основним несучим елементом конструкції. Слід зауважити, що реальні умови експлуатації пов'язані з наявністю випадкових пульсацій тиску. В даній роботі пропонується вважати, що напруження якісно повторюють особливості пульсацій внутрішнього тиску, частота яких значно менша за першу власну частоту конструкції.

На **другому етапі**, в даній роботі пропонується математична модель, що за відомих характеристик НДС дозволяє прогнозувати випадковий розвиток континуальної пошкоджуваності втом, яка явним чином враховує одночасне протікання процесу природного старіння еластостійкого матеріалу.

Деградація властивостей моделюється як процес скорочення межі втом в часі. Кінетика росту пошкоджуваності представлена в рамках концепції ефективних напружень.

На останньому **третьому етапі** вирішується задача визначення ймовірності безвідмовної роботи муфти за відовими ймовірнісними характеристиками процесу накопичення пошкоджуваності втом в муфті, які формуються внаслідок випадкової за амплітудою квазістатичної циклічної пульсації навантаження та з урахуванням одночасного протікання процесу старіння гумової матриці композита.

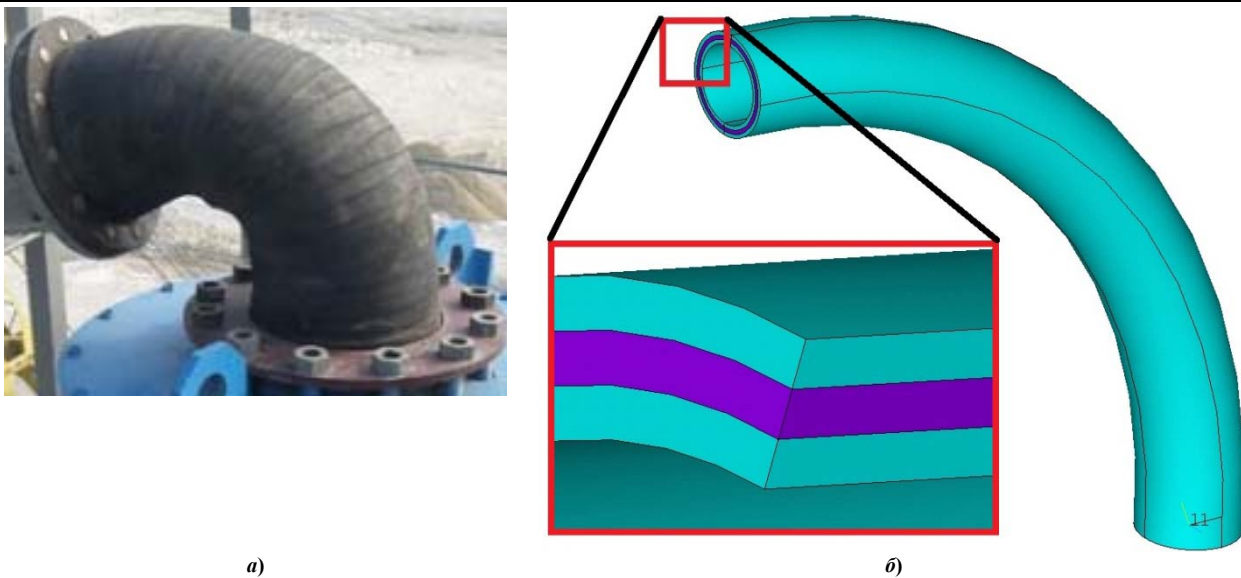
Скінчено-елементне моделювання компенсаторної гумової муфти та оцінка характеристик її НДС в експлуатації

Об'єктом, що досліджується є сектор тородальної труби (рис. 2), який має багатошарову структуру, що складається з трьох шарів гуми, середній з яких армований текстильним кордом. Геометрична модель була створена шляхом протягування попередньо утвореного перерізу труби по заданому напрямку (по дузі заданого радіуса).

З практики моделювання та з оцінок представлених в літературних джерелах відомо, що під дією зовнішнього навантаження гумові матеріали в даній конструкції здатні відтворювати істотні деформації, що призводить до необхідності враховувати геометричну та фізичну нелінійність при їх моделюванні [7].

Аналіз НДС проводився в рамках методу скінчених елементів. Для цього було нанесено регулярну СЕ сітку гексагональних твердотільних тривимірних елементів з 8 вузлами та 3-а ступенями вільності у вузлі. Наявність неоднорідності внутрішньої структури (посилення кордом) призводить з одного боку до отртотропії пружних властивостей певних частин цих конструкцій, а з іншого боку суттєво ускладнює аналіз напруженого стану оскільки відповідна неоднорідність призводить до наявності зон внутрішньої концентрації напружень. Врахувати явним чином наявність корду є майже неможливим оскільки це істотно збільшує розмірність нелінійної задачі, що призводить до поганої збіжності чисельних процедур пошуку розв'язку.

Для вирішення вище зазначених проблем, в даній роботі запропоновано використати метод субмоделювання. Відповідно до підходу задача розв'язується у декілька етапів. На першому етапі проводиться розрахунок повної моделі з досить грубою СЕ сіткою, яка не дає достовірної картини НДС, але є достатньою для отримання якісної картини загального деформування (переміщень точок конструкції).



a)

б)

Рис. 2. Фотографія (а) та геометрична модель (б) муфти

На другому етапі, з повної розрахункової моделі вилучається певна її частина, яка має більш дрібну сітку. В якості додаткових кінематичних граничних умов використовуються результати розрахунків по переміщенням, що були отримані на попередньому етапі моделювання. Це дозволяє отримати більш точні результати по напруженням і деформаціям для частини конструкції, не збільшуючи розмірності повної моделі. В даній роботі застосовується додатково ще й третій етап на якому з вже зменшеної частини конструкції було виділено презентативний об'єм навколо найбільш навантаженої частини конструкції. В рамках моделі даного рівня було побудовано явним чином кордні елементи, що дозволяє оцінити рівень внутрішньої концентрації деформацій в композиті, яка формується внаслідок неоднорідності його структури.

На рис. 3 представлено скінчено-елементні моделі для всіх рівнів субмоделювання.

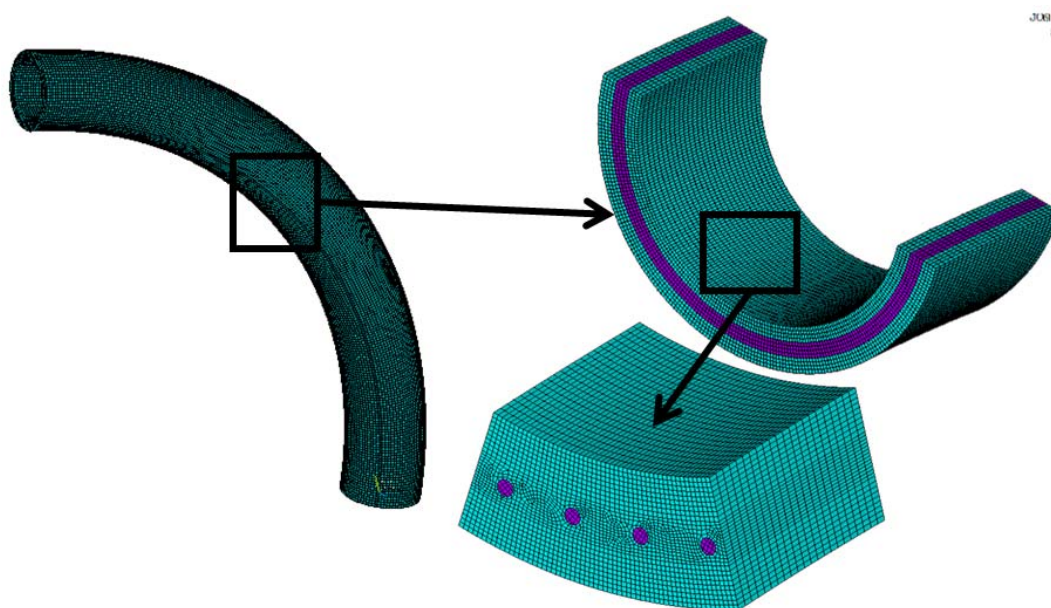


Рис. 3. СЕ моделі різних рівнів субмоделювання

Таким чином, на першому етапі розглядалась повна модель: сектор труби-муфти. Границі сектору було жорстко зафіксовано. В якості навантаження було прикладено рівномірно розподілений внутрішній тиск. Проблема була вирішена в пружній нелінійній постановці в рамках теорії великих деформацій. Гумові шари розглядались відповідно до неогуківської моделі гіперпружного деформування. Для середнього шару було встановлено усереднені ортотропні пружні властивості відповідно до узагальненого закону Гука в тороїдальній системі координат. На другому етапі субмоделювання в рамках тих самих гіпотез було розглянуто лише частину сектору муфти на яку в якості додаткових граничних умов було накладено переміщення по границям відкинutoї частини тіла та які були визначені при попередньому моделюванні. Результати цих розрахунків наведені на рис. 4. Максимальні деформації, що було визначено зосереджені на внутрішньому шарі триби-муфти і складають майже 16%. Максимальні еквівалентні напруження в гумових

шарах спостерігаються також на внутрішньому шарі та складають 0,6 МПа.

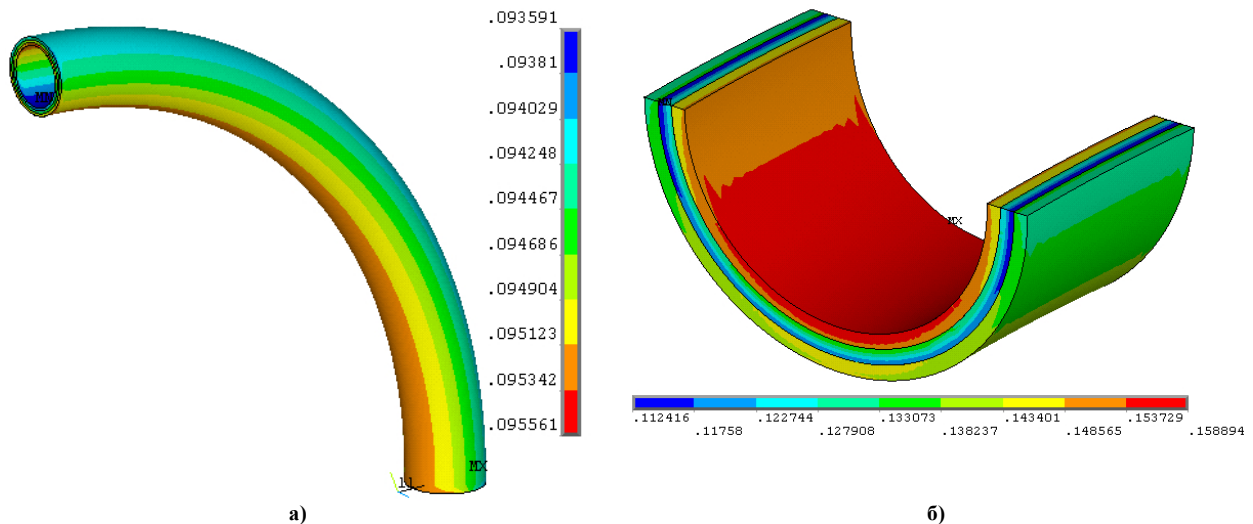


Рис. 4. Результати СЕ моделювання з визначення сумарних переміщень (а) та еквівалентних деформацій (б)

Представлені на рис. 4 характеристики НДС не враховують внутрішньої концентрації деформацій та напружень в композиті, для оцінки якої було проведено ще один рівень субмоделювання з явним врахуванням кордних волокон в шарі композиту. Результати даного дослідження наведені на рис. 5. При цьому визначено, що в гумовій матриці рівень еквівалентних деформацій внаслідок внутрішньої локалізації біля елементів корду складає 30%, що в 2 рази більше ніж максимальна деформація, яка була встановлена в цій конструкції при попередньому дослідженні. Деформація волокон не перевищує 14%. Характер розподілу напружень є схожим з розподілом деформацій: максимальні еквівалентні напруження в гумовій матриці досягають 11 МПа, а в кордних волокнах – 175 МПа.

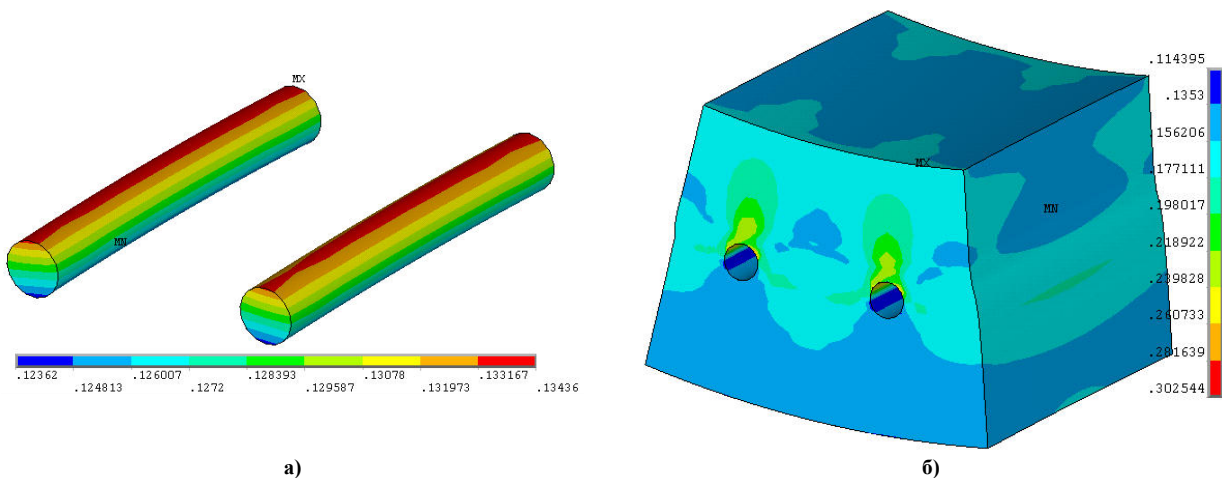


Рис. 5. Результати СЕ субмоделювання з визначення деформацій корду (а) та гумової матриці (б) композитного шару

Аналізуючи можливі значення напружень та деформацій в компенсаторній муфті, слід наголосити, що реальні умови експлуатації не відбуваються з фіксованим рівнем навантаження, а завжди існує певний їх розкид. Таким чином, в даній роботі пропонується вважати, що НДС має середній рівень, що відповідає отриманим з розрахунків значенням, але навколо нього існує випадкова пульсація з амплітудою, що має 30% варіацію. Частота коливань є сталою і складає 4 Гц.

Тобто, вважаємо, що напруження в муфті є стаціонарним вузькополосним випадковим процесом, яки задовольняє розподілу Гауса. Такий процес матиме фіксований детермінований рівень середніх напружень σ_m , та випадкову амплітуду $\sigma_a(t)$, яка змінюється відповідно до закону Релея та має експоненційну кореляційну функцію.

Розробка ймовірнісної моделі кінетики росту втомної пошкоджуваності

В даній роботі використовується підхід континуальної механіки пошкоджуваності [8]. Тобто вважається, що циклічні навантаження призводить до накопичення параметру пошкоджуваності (D), який вводиться в рамках концепції Работнова-Качанова. Розглядається нормований параметр, який обмежений інтервалом: $0 \leq D \leq 1$. Параметр пошкоджуваності вважається ізотропним та залежить від часу t амплітуд напружень σ_a і параметрів матеріалу, кінетичне рівняння росту параметру пошкоджуваності припускається в

традиційній степеневій формі. При цьому коефіцієнти рівняння визначаються, відповідно до процедури, яка описана в роботі [8] з параметрів кривої Велера.

З огляду на те, що типовий термін експлуатації можна порівняти з часом старіння, під час якого характеристики опору втомі значно змінюється, і той факт, що процеси деградації поступово, але постійно змінюють опір втомі під час фактичної експлуатації, існує проблема врахування даного процесу в кінетичному рівнянні для параметру пошкоджуваності. З даних по експериментальним випробуванням відомо, що характеристики втомної міцності мають істотний випадковий розкид своїх значень, особливо щодо числа циклів до відмови. У даній роботі було враховано цю особливість та пропонується розглянути накопичення втомних пошкоджень в ймовірнісній постановці. Отже, диференційне рівняння, що описує процес накопичення пошкоджуваності в даній роботі представлено в наступному виді

$$\frac{dD}{dt} = \frac{\omega_e}{N_0(t) \cdot (m+1) \cdot \sigma_e^m} \left(\frac{\sigma_a(t)}{1-D} \right)^m \quad (1)$$

де m – параметр, що характеризує нахил кривої Велера, σ_e – межа витривалості, $N_0(t)$ – число циклів до руйнування при амплітуді, що відповідає межі витривалості σ_e , яке є випадковою спадаючою функцією часу, що описує процес старіння. Для опису закономірностей зміни характеристик втомної міцності в літературі найчастіше пропонується використовувати гіперболічну залежність [6]:

$$N_0 = \frac{N_{00}}{(1 + \gamma \cdot t)}, \quad (2)$$

де N_{00} , γ – незалежні випадкові параметри, які представляють собою початкове значення числа циклів до відмови та швидкість його зміни.

Модель, описана в даній роботі буде використовуватися для вивчення втомі гумо-кордної муфти-труби. Відповідна модель дозволяє враховувати існування випадкової стаціонарної вузькосмугової варіації напружень з відомими параметрами, а також процесу деградації характеристик опору втомі внаслідок старіння матеріалу. У статті вважається, що процеси старіння та зміни напружень статистично некорельовані випадкові функції часу. Таким чином, процес старіння не впливає на амплітуди напружень безпосередньо і навпаки.

Представлено кінетичне рівняння (1) описує процес накопичення втомі в слабкій точці конструкції. В наслідок наявності випадкових складових параметр пошкоджуваності також буде випадковим процесом. Проблема пошуку ймовірнісних характеристик параметру пошкоджуваності ускладнюється через нелінійність диференційного рівняння (1). Вирішення цієї проблеми можна знайти шляхом введення заміни. Відповідний підхід розглянуто в роботах [8], де було показано, що щільність ймовірності пошкоджуваності можна визначити наступним чином:

$$f_D(D, t) = \frac{(m+1)(1-D)^m}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_z(t)} \exp \left[-\frac{(1 - \langle z(t) \rangle - (1-D)^{m+1})^2}{\sigma_z^2(t)} \right], \quad (3)$$

де $\langle z(t) \rangle$ та $\sigma_z(t)$ – математичне очікування та с.к.в. спеціально введеної функції z , які можуть бути розраховані аналітично:

$$\langle z(t) \rangle = \psi \left\langle \xi^m \right\rangle \left\langle \chi^{-1} \right\rangle \left(t + \frac{\langle \gamma \rangle t^2}{2} \right), \quad \psi = \frac{(\langle \sigma_a \rangle)^m \omega_e}{\sigma_e^m \langle N_0 \rangle} \quad (4)$$

$$\sigma_z^2 = \beta_4 t^4 + \beta_3 t^3 + \beta_2 t^2 + \beta_1 t - \langle z(t) \rangle^2, \quad (5)$$

де коефіцієнти β_i є сталими параметрами, що визначаються з наступних співвідношень:

$$\beta_1 = \psi^2 \left\langle \chi^{-2} \right\rangle \frac{2k_3^2}{\alpha} \left(1 - \frac{\langle \gamma \rangle}{\alpha} \right), \quad \beta_2 = \psi^2 \left\langle \chi^{-2} \right\rangle \left(k_0^2 + \frac{2k_3^2}{\alpha} \langle \gamma \rangle - \frac{k_3^2}{\alpha^2} \langle \gamma^2 \rangle \right), \quad (6)$$

$$\beta_3 = \psi^2 \left\langle \chi^{-2} \right\rangle \langle \gamma \rangle k_0^2, \quad \beta_4 = \psi^2 \left\langle \chi^{-2} \right\rangle \left\langle \gamma^2 \right\rangle \frac{k_0^2}{4}, \quad (7)$$

$$\left\langle \xi^m \right\rangle = k_0 = \int_0^\infty \xi^m \cdot f_\xi(\xi) d\xi = \int_0^\infty \frac{\xi^{m+1}}{\sigma_\xi^2} \exp \left(-\frac{\xi^2}{2\sigma_\xi^2} \right) d\xi = \sigma_\xi^m 2^{\frac{m}{2}} \Gamma\left(\frac{m}{2} + 1\right) \quad (8)$$

$$k_3 = \int_0^\infty \xi_1^m \cdot f_\xi(\xi_1) \left(1 - \frac{\xi_2^m}{2\sigma_\xi^2} \right) d\xi_1 = \sigma_\xi^m 2^{\frac{m}{2}} \left[\Gamma\left(\frac{m}{2} + 1\right) - \Gamma\left(\frac{m}{2} + 2\right) \right] \quad (9)$$

де $\Gamma(x)$ – це гамма функція.

У формулах (4), (6) та (7) присутні множники $\langle \chi^{-1} \rangle$ та $\langle \chi^{-2} \rangle$, які слід окремо визначати відповідно до правил усереднення випадкової величин χ , тобто:

$$\langle \chi^{-c} \rangle = \int_0^{\infty} \chi^{-c} \cdot f_{\chi}(\chi) d\chi = \int_0^{\infty} \chi^{-c} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}V_{N0}} \exp\left[-\frac{(\chi-1)^2}{2 \cdot V_{N0}^2}\right] d\chi, c=1,2 \quad (10)$$

Вираз (3) дає можливість розрахувати процес накопичення пошкоджуваності у середньому $\langle D \rangle$

$$\langle D(t) \rangle = \int_0^{\infty} D \cdot f_D(D, t) dD \quad (11)$$

Аналіз надійності конструкції

Вираз (3) дозволяє не лише аналізувати закономірності накопичення пошкоджуваності втомі з урахуванням деградації матеріалу але й дає можливість розрахувати характеристики надійності муфти в експлуатації. Ключовим моментом цього підходу є визначення ймовірності безвідмовної муфти залежно від часу або для визначення розподілу ймовірності ресурсу [8]

$$P(t) = \Pr[D \in (0,1)] = \int_0^1 f_D(D, t) dD \quad (12)$$

де $P(t)$ – це ймовірність безвідмовної роботи, а $\Pr[\]$ – оператор визначення ймовірності.

На рис. 6 представлено результати розрахунків параметрів надійності конструкції. Ймовірності безвідмовної роботи муфти, як функції часу, а також пунктирної кривою середню пошкоджуваність показано на рис. 6, а. В роботі, зокрема, проаналізовано вплив параметру γ , який характеризує швидкість процесу старіння. Параметр варіювався в широкому діапазоні значень від 0 до 32 рік⁻¹. Нульове значення відповідає оцінці втомі без врахування процесу старіння, в той час якщо $\gamma = 32$ рік⁻¹, то це означає, що кількість циклів до відмови на фіксованому рівні деформацій зменшилась на порядок (у 10 разів) за 3 місяця. Існуючи експериментальні дані по гумі, що має близькі до даного матеріалу властивості [6], показали, що $\gamma = 2$ рік⁻¹ (за 4 роки кількість циклів до відмови зменшувалась на порядок). Гарантований ресурс муфти при цьому складає 6,5 років, а середній – майже 10 років. На рис. 6, б показано залежності зміни характеристик ресурсу (гарантованого, середнього та максимально можливого) від параметру γ .

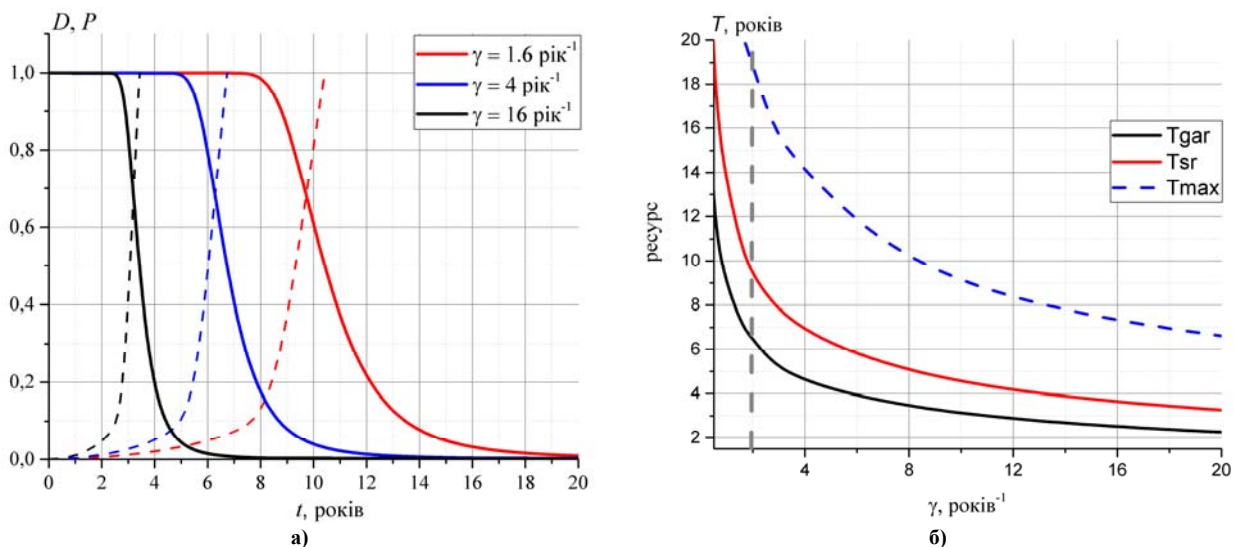


Рис. 6. Ймовірність безвідмовної роботи (а) та ресурс (б) муфти залежно від швидкості старіння матеріалу

Висновки

В роботі розглянуто математичне моделювання надійності багат шарової гумо-кордної компенсаторної муфти трубопроводів. Запропоновано модель оцінки накопичення втомної пошкоджуваності в даній конструкції, яка враховує можливу варіацію напружень в процесі експлуатації, а також процеси зміни характеристик опору втомі в матеріалах внаслідок природного старіння. Характеристики напружено деформованого стану муфти проаналізовані в рамках методу скінчених елементів із застосуванням процедури ітеративного субмоделювання. При цьому встановлено, що навколо кордних елементів рівні деформацій досягають 30% внаслідок внутрішньої концентрації, яка викликана неоднорідністю будови композита. З урахуванням випадкового процесу старіння, а також допускаючи випадкову варіацію напружень навколо визначено в розрахунках значення було проведено оцінку ймовірності безвідмовної роботи та прогноз ресурсу. Проаналізовано вплив параметру швидкості старіння матеріалу на характеристик ресурсу.

Література

1. Fedorko G. Failure analysis of irreversible changes in the construction of the damaged rubber hoses / Gabriel Fedorko, Vierslav Molnar, Miroslav Dovica, Teodor Toth, Jana Fabianova // *Engineering Failure Analysis*. – 2015. – Vol. 58. – P. 31–43.
2. Seung-Bum Kwak. Micro-damage formation of a rubber hose assembly for automotive hydraulic brakes under a durability test / Seung-Bum Kwak, Nak-Sam Choi // *Engineering Failure Analysis*. – 2009. – Vol. 16. – P. 1262–1269.
3. Cho J.R. Fatigue life assessment of fabric braided composite rubber hose in complicated large deformation cyclic motion / J.R. Cho, Y.H. Yoon, C.W. Seo, Y.G. Kim // *Finite Elements in Analysis and Design*. – 2015. – Vol. 100. – P. 65–76.
4. Mars W. A literature survey on fatigue analysis approaches for rubber / W. Mars, A. Fatemi // *International Journal of Fatigue*. – 2002. – Vol. 24, No. 9. – P. 949–961.
5. Трощенко В. Т. Рассеяние характеристик усталости сталей и его анализ с учетом циклических деформаций / В.Т. Трощенко, Ю.И. Коваль, Е.И. Митченко // *Проблемы прочности*. – 2007. – № 3. – С. 5–22.
6. Ларін О. О. Дослідження характеристик опору втомі гумових сумішей, що входять до складу елементів пневматичних шин після штучного старіння матеріалу / О. О. Ларін // *Вісник НТУ "ХПІ": Серія "Нові рішення у сучасних технологіях"*. – 2015. – № 46. – С. 45–50.
7. Синюк О.М. Математична модель анізотропних властивостей полімерних матеріалів / О.М. Синюк // *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. – 2015. – № 1 (221). – С. 12–18.
8. Ларін О. О. Визначення показників надійності напівпричепу автоцистерни в експлуатації методами комп'ютерної механіки / О. О. Ларін, К. Є. Грінченко // *Вісник НТУ "ХПІ": Серія "Нові рішення у сучасних технологіях"*. – 2015. – № 39. – С. 47–55.

Рецензія/Peer review : 13.7.2016 р.

Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

**СТЕНД ДЛЯ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОАККУМУЛЯТОРОВ
ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НАЗЕМНОГО АВТОТРАНСПОРТА**

Спроектирован и изготовлен экспериментальный стенд для контроля параметров теплоаккумуляторов и имитации процесса предпускового разогрева двигателя внутреннего сгорания. Проведены экспериментальные исследования по выбору наиболее оптимального теплоаккумулирующего материала. Проведен анализ материалов, наиболее пригодных для использования в двигателях наземного автотранспорта.

Робота виконана в рамках фінансування госбюджетної теми № 0115U003062 «Створення нової техніки і технологій машинобудування з робочими процесами взаємодії твердих, сипких і плинних тіл та середовищ».

Ключевые слова: теплоаккумулятор, предпусковой разогрев, теплоаккумулирующие материалы.

E.S. APPAZOV, S.A. RUSANOV, O.I. KIUIEV, A.S. KOSTERNYI
Kherson National Technical University

**STAND FOR CONTROLLING CHARACTERISTICS OF THE HEAT ACCUMULATOR
OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINES OF GROUND VEHICLES**

Designed and built a stand for control of parameters of heat accumulators and simulation process pre-heating of the internal combustion engine. Experimental studies on the choice of the optimal thermal storage material. The analysis of the materials that are most suitable for use in engines of ground vehicles.

The work was performed under funding of the state budget program № 0115U003062 "The creation of new techniques and technologies of mechanical engineering with work processes of interaction of solid, granular and fluid bodies, and environments".

Keywords: heat storage, pre-heating, heat storage materials.

Введение. Проблема холодного пуска и эксплуатации, а также негативное воздействие на двигатели давно известна и широко рассмотрена [1, 2]. При холодном пуске снижается эффективность двигателя как тепловой машины, его экономичность и экологичность, поскольку условия смесеобразования при низких температурах ухудшаются, а температура блока цилиндров и его головки значительно ниже номинальных значений. Эксплуатация автомобиля в холодное время года сопряжена со снижением комфорта водителя и пассажиров в начале движения вследствие того, что отопительная система автомобиля не может полноценно выполнять свои функции [3].

Анализ исследований и публикаций. Работа теплового аккумулятора основана на свойстве теплоаккумулирующего вещества выделять тепловую энергию при фазовом переходе из жидкого состояния в твердое. Таким образом, расплавленное вещество при кристаллизации способно длительное время поддерживать высокую температуру, что позволяет сохранить некоторый объем горячей охлаждающей жидкости, необходимый для нагрева головки блока цилиндров и блока цилиндров. Перед запуском двигателя, горячая охлаждающая жидкость из емкости теплового аккумулятора при помощи помпы поступает и циркулирует по малому кругу системы охлаждения, прогревая двигатель [4]. Таким образом, после пуска сокращается время прогрева, токсичность выхлопных газов и количество топлива, потребленного для прогрева до рабочей температуры.

К теплоаккумулирующим веществам предъявляются следующие требования:

- температура плавления в диапазоне от 60 до 100°C;
- максимально высокая энтальпия фазового перехода;
- высокая стойкость к термоциклированию – вещество не должно деградировать либо распадаться после изменения агрегатного состояния;
- слабая химическая активность по отношению к материалам емкостей (капсул);
- пожарная безопасность, не токсичность, экологичность;
- высокая теплопроводность и теплоемкость в жидкой и твердой фазах.
- низкая стоимость;

Постановка задачи исследований: Спроектировать и изготовить теплоаккумулятор для наземного автотранспорта, позволяющий производить предпусковую тепловую подготовку двигателя внутреннего сгорания в рамках выполнения бюджетной темы БД 1/15 (№ 0115U003062).

Изложение основного материала. Теплоаккумулирующий состав можно разделить на 2 основных типа: органические и неорганические вещества. К органическим как правило относят различные воски, парафины, стеарин, церезины, озокерит. В группу неорганических теплоаккумулирующих веществ входят различные кристаллогидраты и соли.

Эксперименты проводились с помощью лабораторного калориметра: металлическую колбу наполняли теплоаккумулирующим составом, после чего она герметично закрывалась и погружалась в емкость с кипящей водой, имитирующей процесс заряда аккумулятора. По истечении определенного времени, колба переносилась в емкость, заполненную предварительно измеренным объемом воды с

известной температурой (равной температуре окружающей среды). После наступления теплового равновесия между колбой и жидкостью в емкости, измерялась конечная температура воды. Для уменьшения тепловых потерь емкость теплоизолировалась от окружающей среды. Измерения для каждого теплоаккумулирующего материала проводились 5 раз для минимизации погрешностей. В качестве органических теплоаккумулирующих материалов использовались технический воск, озокерит, церезин 70, а кристаллогидратов - сульфат алюминия-калия ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) и октагидрат гидроксида бария ($Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$).

В результате экспериментов было установлено, что наиболее целесообразно применение в качестве плавящегося теплоаккумулирующего материала $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$. Связано это с сочетанием высокой теплоемкости фазового перехода (280 КДж/кг) и оптимальной температурой плавления (78°C). Капсула с данным материалом нагрела емкость, содержащую 350 мл воды на 11,2°C. Капсула с $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ того же объема нагрела аналогичное количество воды на 9,6 °C. Объясняется это более низкой теплоемкостью и более высокой температурой плавления (92°C). Можно предположить, что в результате эксперимента не весь объем кристаллогидрата перешел в жидкое состояние, в следствии герметичной упаковки происходило увеличение температуры плавления. Кроме того, указанная температура плавления делает нецелесообразным применение данного материала для автомобильного теплоаккумулятора, поскольку в результате саморазряда в процессе хранения тепла, большая его часть, выделяемая при фазовом переходе будет потеряна. Технический воск, озокерит и церезин 70 показали значительно худшие результаты – 5,9°C, 6,5°C и 7,2°C соответственно. Связано это с изначально более низкой теплотой фазового перехода (в сравнении с кристаллогидратами). Кроме того, более низкая плотность данных материалов приводит к уменьшению их массы в контрольном объеме капсулы. Наиболее доступным веществом является технический воск с температурой плавления около 64°C и удельной теплотой плавления около 90 КДж/кг. Озокерит обладает более высокой температурой плавления (70–90°C в зависимости от состава), и более высокой теплотой фазового перехода (120–130 КДж/кг), Церезин, в зависимости от марки, может иметь температуру плавления 65–85°C. При этом удельная теплота плавления (около 160 КДж/кг) делают его достаточно привлекательным материалом для теплоаккумуляторов.

Кроме того, низкая химическая активность, отсутствие испарений и газообразования при нагреве, стабильность при термоциклировании, а также низким коэффициентом температурного расширения упрощают процесс производства и снижают требования к материалам капсул (корпуса), а нерастворимость в охлаждающей жидкости автомобиля повышают безопасность готового изделия.

Однако все органические материалы имеют ряд существенных недостатков:

- низкая плотность, в результате чего увеличиваются габариты готового изделия, усложняя монтаж в подкапотном пространстве;
- низкая теплопроводность, в результате чего увеличивается время как заряда, так и разряда аккумулятора, что существенно снижает потребительские качества готового изделия. Для улучшения теплопроводности такой материал целесообразно помещать в матрицу из вещества с высокой теплопроводностью, что увеличит скорость прогрева всего объема вещества и улучшит отдачу тепла при разряде.

Как видно из результатов экспериментов октагидрат гидроксида бария обладает рядом преимуществ, его удельная теплота плавления, плотность, температура плавления и теплопроводность сравнительно высоки, что делает этот материал достаточно привлекательным для применения в качестве теплоаккумулирующего. Использование этого вещества не требует внедрения его в матрицу из материала с высокой теплопроводностью, что позволяет увеличить соотношение массы теплоаккумулирующего вещества к массе материала колбы и матрицы, в которую он помещён, в сторону первого, что улучшает характеристики устройства в целом.

Для имитации работы теплоаккумулятора в реальных условиях был спроектирован стенд (рис. 1), состоящий из теплового аккумулятора, помпы, создающей принудительную циркуляцию жидкости, полноразмерного (комплектного) двигателя внутреннего сгорания системы заслонок для управления потоками жидкости.

Теплоаккумулятор в данном стенде представляет собой емкость, заполняемую охлаждающей жидкостью, в которой расположены капсулы с теплоаккумулирующим материалом. Конструкция емкости позволяет оперативно менять капсулы (количество), их взаимное расположение, а конструкция капсул предусматривает возможность замены теплоаккумулирующего материала.

Нагреватель представляет собой емкость с вмонтированным трубчатым электронагревателем, необходимым для заряда аккумулятора. Данный узел позволяет имитировать работу двигателя внутреннего сгорания.

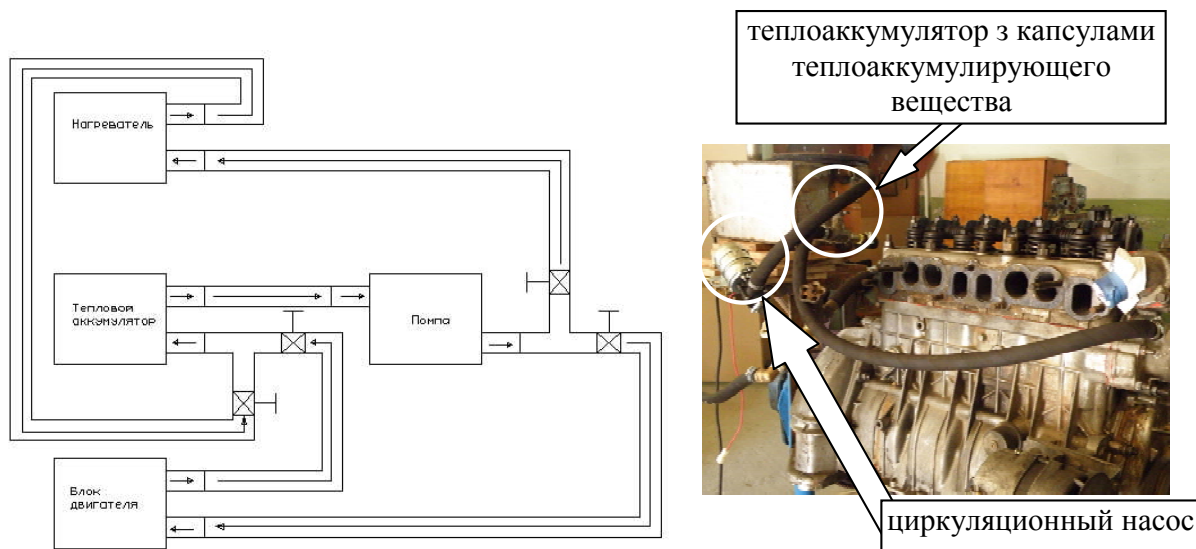


Рис. 1. Стенд для испытания теплоаккумуляторов

Начальным этапом эксперимента является нагрев жидкости в нагревателе и её циркуляция через теплоаккумулятор с целью расплавления теплоаккумулирующего вещества. В процессе заряда через равные промежутки времени измеряется температура жидкости в теплоаккумуляторе для контроля скорости заряда. При этом заслонки препятствуют попаданию нагретой жидкости в двигатель. После окончания процесса заряда нагревательный элемент отключается, жидкость, нагреваемая колбами с расплавленным теплоаккумулирующим материалом, подаётся в блок двигателя внутреннего сгорания. Процесс продолжается до наступления теплового равновесия, характеризующийся прекращением увеличения температуры двигателя. В процессе прогрева, через равные промежутки времени, измеряется температура различных участков блока двигателя и строится график изменения температуры данного участка с течением времени. Кроме того, после окончания процесса заряда выдерживается временной промежуток, имитируя процесс хранения тепла.

Таким образом, предложенный стенд является универсальным и позволяет проводить эксперименты:

- с различными теплоаккумулирующими материалами, определяя их эффективность (теплоемкость, теплопроводность и др.) в условиях, максимально приближенных к реальным;
- с различными теплоизолирующими материалами, определяя скорость саморазряда;
- с различными формами, размерами и взаимным расположением капсул, определяя скорость теплопередачи (время заряда, разряда теплоаккумулятора);
- с различным направлением течения жидкости внутри теплоаккумулятора для повышения эффективности работы;
- определение точек врезки патрубков теплоаккумулятора в штатную систему охлаждения для обеспечения максимальной эффективности.

Выводы. Спроектирован и изготовлен универсальный стенд для контроля параметров теплоаккумуляторов. Показано, что конструкция стенда позволяет проверять результаты моделирования процессов заряда, хранения тепла, разряда теплоаккумуляторов, процесс предпусковой подготовки двигателя внутреннего сгорания. Установлено, что наиболее приемлемыми материалами для использования в качестве теплоаккумулирующих, являются октагидрат гидроксида бария и церезин 70.

Литература

1. Пыхтя В. А. Экспериментальные исследования системы предпускового разогрева двигателя с тепловым аккумулятором / В.А. Пыхтя // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2010. – № 6 (148). – С. 246–251.
2. Вашуркин И.О. Тепловая подготовка и пуск ДВС мобильных транспортных и строительных машин зимой / Вашуркин И.О. – СПб : Наука, 2002. – 145 с.
3. Аппазов Э.С. Использование тепловых аккумуляторов для предпусковой подготовки автомобильных двигателей / Э.С. Аппазов // Вісник ХНТУ. – 2013. – № 2(47). – С. 42–49.
4. Аппазов Е.С. Моделювання гідродинамічних та теплових процесів при передпусковій підготовці автомобільних двигунів / Е.С. Аппазов, О.І. Ключев, С.А. Русанов // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Вид-во ХДМА, 2014. – № 1(10). – С. 131–136.

Рецензія/Peer review : 2.8.2016 р. Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

ТЕПЛОАККУМУЛЯТОР ДЛЯ ПРЕДПУСКОВОГО РАЗОГРЕВА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Спроектирован и изготовлен промышленный образец теплоаккумулятора для предпускового разогрева двигателя внутреннего сгорания наземного автотранспорта. Проведено моделирование гидравлических и тепловых процессов внутри аккумулятора и показано влияние компоновки (взаимного расположения элементов внутри аккумулятора) на его эффективность.

Ключевые слова: теплоаккумулятор, предпусковой разогрев двигателя, теплоаккумулирующие материалы, фазовый переход.

E.S. APPAZOV, S.A. RUSANOV, O.I. KIUIEV, A.S. KOSTERNYI

Kherson National Technical University

THE STORAGE TANK FOR PRE-HEATING OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Designed and manufactured industrial design of storage tank for pre-heating of internal combustion engine land vehicles. The simulation of hydraulic and thermal processes in the middle of the battery and shows the effect of layout (relative placement of the elements in the middle of the battery) on its effectiveness.

Keywords: heat storage; prestarting warming up of the engine, heat storage materials, phase transition.

Введение. Целью работы является создание теплового аккумулятора, который использовал бы тепловую энергию охлаждающей жидкости двигателя внутреннего сгорания для собственного заряда, сохраняя её в течении длительного времени. Применение такого устройства позволит минимизировать негативные последствия холодного пуска, увеличить эффективность работы двигателя внутреннего сгорания, повысить комфорт начала движения автомобиля. Принцип работы такого устройства основан на явлении скрытой теплоты фазового перехода теплоаккумулирующего состава.

В [1–3] были рассмотрены результаты расчетных исследований гидродинамики и теплообмена двигателя с определением неравномерности прогрева блока цилиндров и головки блока цилиндров, необходимым временем прогрева для заданных параметров окружающей среды применительно к аккумуляторам теплоты на фазовых переходах. Существуют различные варианты конструкционного исполнения теплоаккумуляторов [4]:

- емкость с двойными стенками, между которыми создаётся вакуум для теплоизоляции. В качестве теплоаккумулирующего элемента выступает сам теплоноситель – охлаждающая жидкость.
- теплообменник, по которому циркулирует горячий теплоноситель. Теплообменник может иметь различную конфигурацию рёбер между трубками для улучшения теплообмена.
- емкость, по которой циркулирует теплоноситель, внутри которой закреплены капсулы с теплоаккумулирующим составом. Во внутреннем объёме, при помощи взаимного расположения капсул с теплоаккумулирующим материалом, формируется поток жидкости, благодаря чему можно минимизировать гидравлические потери и улучшить теплообмен между теплоносителем и теплоаккумулирующим составом, содержащимся в колбах.

Постановка задачи. Дальнейшим этапом является проведение исследований гидродинамики и теплообмена теплоаккумулятора, определением оптимальной компоновки, размеров элементов, создание промышленного образца. Данная работа выполнена в рамках финансирования госбюджетной темы «Створення нової техніки і технологій машинобудування з робочими процесами взаємодії твердих, сипких і плинних тіл та середовищ». Номер государственной регистрации 0115U003062.

Изложение основного материала. Для проведения испытаний был заключен договор с одним из автотранспортных предприятий г. Херсон, согласно которому предприятие предоставляет пассажирские автобусы, работающие на внутригородской маршрутной сети, а университет проектирует и изготавливает теплоаккумуляторы, с последующим техническим сопровождением. В качестве экспериментального был предложен автобус ХАЗ-3250 с двигателем NISSAN DONG FENG CY4102BZLQ. Масса двигателя, а также объем системы охлаждения являлись исходными данными при проектировании теплоаккумулятора.

В качестве прототипа был выбран третий вариант конструкции теплоаккумулятора. В качестве емкости был выбран стальной бак прямоугольного сечения, торцевая часть которого имеет фланец для упрощения монтажа кассеты с капсулами. Такая конструкция подразумевает создание теплообменника кожухотрубного типа. На боковой поверхности выполнены резьбовые разъемы для подачи-отвода охлаждающей жидкости. В них вмонтированы электромагнитные клапаны для предотвращения конвективного теплообмена с системой охлаждения двигателя во время стоянки (хранения тепла). Клапаны нормально закрытого типа с рабочим напряжением питания 12 В. Подключены в общую электрическую сеть автомобиля параллельно электрическому циркуляционному насосу. Внешний корпус, выполненный из тонколистового материала, упрощает монтаж и защищает теплоизоляцию от механических повреждений. Размеры емкости теплоаккумулятора соответствуют размерам ниши багажного отсека данного автобуса.

В качестве заготовок для капсул была выбрана бесшовная алюминиевая труба наружным диаметром 22 мм и толщиной стенки 1,25 мм. Выбранный диаметр представляется нам наиболее оптимальным, поскольку позволяет получить достаточную площадь поверхности контакта охлаждающей жидкости с

капсулами при сохранении приемлемой трудоемкости изготовления. В капсулы заливается расплавленный теплоаккумулирующий материал – октагидрат гидроксида бария ($T_{пл}=78^{\circ}\text{C}$). При этом сверху оставалось свободное пространство для компенсации термического расширения. Герметизация капсул осуществлялась завальцовкой трубы на токарном станке после запрессовки в нее предварительно изготовленных стальных пробок. Пробки снабжены фасонными проточками, заполненными высокотемпературным герметиком.

Для пространственной ориентации капсул внутри корпуса были спроектированы и изготовлены стальные перегородки. Они крепятся между собой резьбовыми шпильками и герметизируются относительно стенок корпуса теплоаккумулятора. Такая конструкция позволяет разделить внутренний объем теплоаккумулятора на отсеки и в несколько раз увеличить путь, преодолеваемый жидкостью во время прохождения внутри устройства с большим захватом тепла за один проход. Взаимное размещение капсул внутри теплоаккумулятора создает в нём лабиринтное протекание охлаждающей жидкости, позволяющее равномернее прогревать теплоаккумулирующее вещество, находящееся в колбах, а также интенсифицировать процесс теплообмена за счёт увеличения скорости теплоносителя, омывающего их. При этом необходимо стремиться разместить в заданном объеме максимальный объем теплоаккумулирующего материала.

Было разработано несколько вариантов взаимного расположения капсул внутри корпуса. Из них выбраны два наиболее приемлемых варианта, которые и стали объектом моделирования. Было проведено моделирование гидродинамических и тепловых процессов, протекающих внутри теплоаккумулятора.

Вариант 1 предполагает шахматное расположение капсул вдоль потока охлаждающей жидкости (рис. 1).

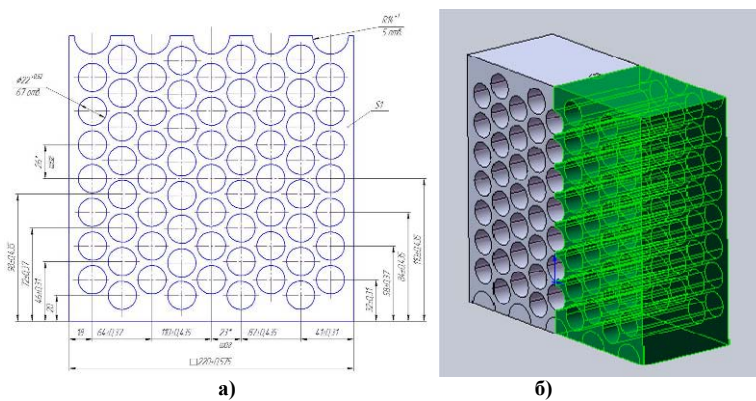


Рис. 1. Вариант конструктивного исполнения теплоаккумулятора:
а) рабочий чертеж перегородки; б) пространственная модель одной секции;

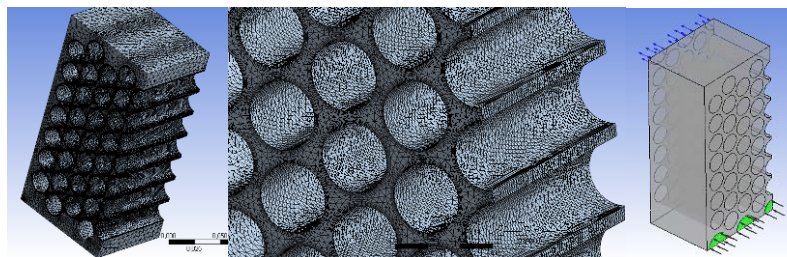


Рис. 2. Конечно-элементная модель одной секции с учетом симметрии и схема подачи жидкости

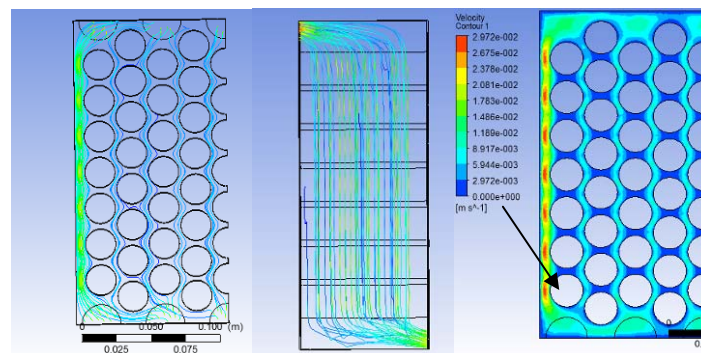


Рис. 3. Результаты моделирования линии тока и распределение скоростей в сечении

В данном варианте жидкость перемещается в вертикальном направлении по фактически прямолинейным каналам, образованным пространством между капсулами (рис. 3). Такая компоновка характеризуется низким гидравлическим сопротивлением и высокой скоростью течения жидкости. Это положительно сказывается на производительности электрического циркуляционного насоса, однако приводит к неравномерному распределению потоков охлаждающей жидкости внутри объема теплоаккумулятора. На рис. 3 стрелкой показано нежелательное усиленное течение вдоль стенки, на которое

приходится 30% общего расхода.

При этом площадь поверхности соприкосновения может оказаться недостаточной для эффективной теплопередачи. Для уменьшения эффекта пристеночного течения целесообразно закрыть подачу через крайние просветы в перегородке (рис. 4). Однако данное решение лишь частично решает проблему. Общий перепад давлений составляет 320 Па.



Рис. 4. Результаты моделирования распределение скоростей и давления в сечении при подаче только через центральные просветы

Как следствие, во всем объеме жидкости при заданном расходе (3 л/мин) наблюдается ламинарный режим течения. Тепловой расчет проводился для полностью и равномерно заряженного теплоаккумулятора в режиме фазового перехода во всех трубках (рис. 5). На поверхности трубок таким образом задавалась температура фазового перехода (предполагается, что теплота фазового перехода расходуется за промежуток времени больший, чем время нахождения частицы жидкости в секциях; для рассматриваемого случая температура фазового перехода составляет 78°C). Температура окружающей среды -10°C. Теплоизоляция корпуса теплоаккумулятора – пенополистирол ($K=0,8$ Вт/м²К) по всему периметру толщиной 50 мм. Жидкость (тосол) подается при температуре 0°C (параметры тосола взяты для худших условий – вязкость и плотность соответствуют температуре 0°C).

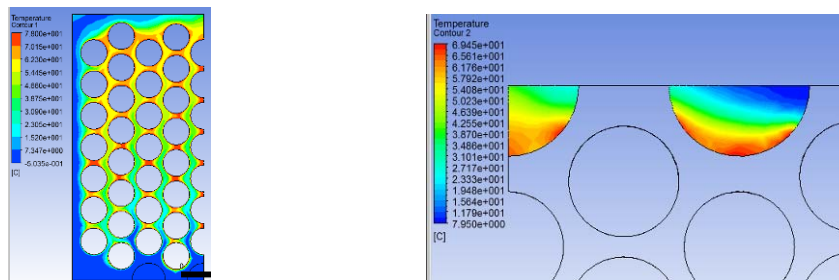


Рис. 5. Поле температур в сечении секции и на выходе из нее

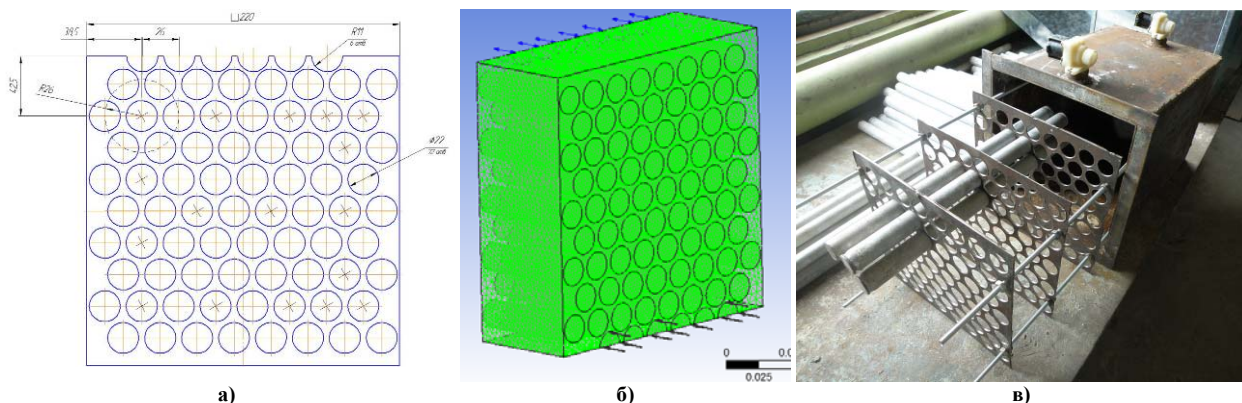


Рис. 6. Конструкция экспериментального образца
а) рабочий чертеж перегородки; б) конечно-элементная модель секции трубки
в) изготовленный каркас с капсулами теплоаккумулирующего вещества

Таким образом, при температуре трубок 78°C (фазовый переход для октагидрата гидроксида бария), температуре окружающей среды -10°C, температуре тосола на входе в секцию 0 °C и указанной теплоизоляцией температура охлаждающей жидкости на выходе из теплоаккумулятора в среднем составит 40°C. Вдоль всей стенки заметно негативное влияние пристеночного потока – жидкость с низкой температурой доходит вплоть до выходных отверстий. Таким образом для избавления от нежелательного пристеночного течения и выравнивания потока в целом недостаточно простого перекрытия крайних впускных отверстий в перегородке.

Для решения проблемы рассматривается вариант 2, предполагающий шахматное расположение

трубок поперек потока (рис. 6). При этом секция моделировалась полностью в связи с отсутствием вертикальной плоскости симметрии, что можно отнести к недостаткам такого расположения, поскольку будет наблюдаться тепловая асимметрия.

При такой компоновке заметно более равномерное распределение потока в сечении и отсутствие пристеночного потока по сравнению с вариантом 1 (рис. 7). Общий перепад давлений составляет 300 Па.

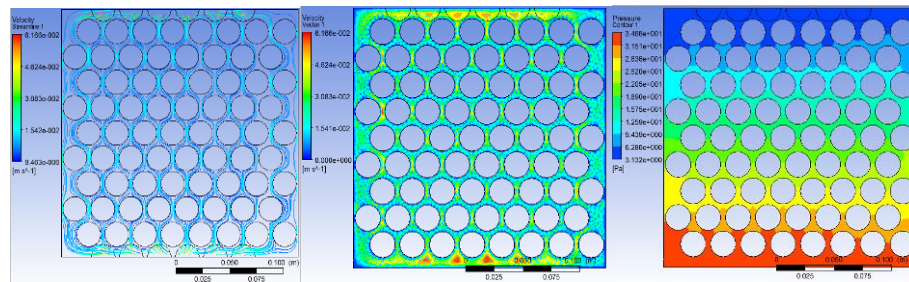


Рис. 7. Линии тока, распределение скоростей и давлений в сечении

Кроме того, данная компоновка характеризуется отсутствием перепадов скоростей при незначительном уменьшении перепада давления. Результатом является более благоприятные условия для теплопередачи – отсутствие застойных зон, более равномерное распределение температуры по сечению (рис. 8).

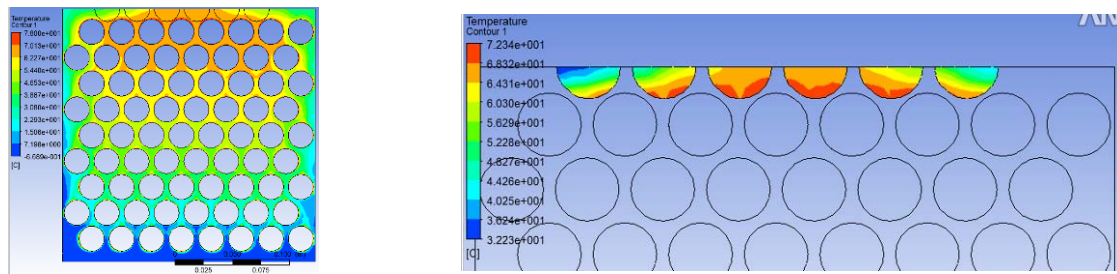


Рис. 8. Поле температур в сечении секции и на выходе из нее

Входные параметры моделирования (свойства веществ и расходные характеристики) полностью соответствуют предыдущей схеме. В результате, при температуре трубок 78°C (фазовый переход октагидрата гидроксида бария), температуре окружающей среды -10°C , температуре тосола на входе в секцию 0°C и соответствующей теплоизоляции, увеличение температуры на выходе в среднем составит 60°C . Таким образом, за один проход с трубок снимается больше теплоты, что соответствует улученной теплоотдаче в секции. Однако при этом наблюдается незначительная температурная асимметрия.

Дальнейшая интенсификация процесса теплопередачи возможна за счёт применения материала для изготовления колб с более высоким коэффициентом теплопроводности, а также создания на их внешней поверхности оребрения, дополнительно турбулизирующего поток.

Выводы

Предварительное CFD моделирование процессов тепловой подготовки двигателей внутреннего сгорания позволяет оптимизировать конструктивные параметры оборудования, выбрать подходящие решения из множества возможных компоновок, рассчитать энергозатраты еще на раннем этапе проектирования. Такой подход может быть распространен на индивидуальные расчеты по определению оптимальных компоновок теплоаккумулирующих устройств для широкого спектра автомобильной техники.

Литература

1. Косенков И.А. Результаты экспериментальных исследований системы предпусковой подготовки двигателей / А.П. Картошкин, И.А. Косенков, Д.С.Агапов // Сб. науч. трудов Международной научно-технической конференции «Улучшение эксплуатационных показателей автомобилей, тракторов и двигателей» / СПбГАУ. – СПб, 2010. – С. 302–310.
2. Аппазов Е.С. Моделювання гідродинамічних та теплових процесів при передпусковій підготовці автомобільних двигунів / Е.С. Аппазов, О.І. Ключев, С.А. Русанов // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Вид-во ХДМА, 2014. – № 1(10). – С. 131–136.
3. Дмитрієв Д.О. Моделювання процесу розігріву двигуна з тепловим акумулятором при передпусковій підготовці / Д.О. Дмитрієв, Е.С. Аппазов, С.А. Русанов, О.І. Ключев // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 5. – С. 54–58.
4. Аппазов Э.С. Использование тепловых аккумуляторов для предпусковой подготовки автомобильных двигателей / Э.С. Аппазов // Вісник ХНТУ. – 2013. – № 2(47). – С. 42–49.

Рецензія/Peer review : 8.7.2016 р. Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.

Рецензент: д.т.н. Чурсіна Л. А.

Л.М. ЗАМІХОВСЬКИЙ, Л.О. ШТАЄР, М.В. СМЕРЕК
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НЕОДНОРІДНОСТІ СТІНКИ ТРУБОПРОВОДУ НА ПАРАМЕТРИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ В АКУСТИЧНОМУ МЕТОДІ КОНТРОЛЮ ВИТОКІВ З ТРУБОПРОВОДІВ

Вдосконалено математичну модель розрахунку коефіцієнта відбивання тестового акустичного сигналу від неоднорідності стінки трубопроводу. Запропоновано в математичній моделі трубопроводу окрім технологічних параметрів трубопроводу враховувати геометричні параметри витоку, що дозволило оцінити необхідну потужність тестового сигналу в акустичному методі контролю трубопроводів. Розроблено інформаційний модуль, який дозволяє проводити розрахунок параметрів моделі.

Ключові слова: математична модель, трубопровід, коефіцієнт згасання, акустичний метод.

L.M. ZAMIKHOVSKIY, L.O. SHTAIER, M.V. SMEREK
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF PIPELINE WALL DISCONTINUITY ON MATHEMATICAL MODEL PARAMETERS USING ACOUSTIC METHOD OF PIPELINE LEAK CONTROL

The aim of research – to improve the mathematical model for calculating the required power of test acoustic signal to identify discontinuities of pipeline wall in view of its geometry. Localization of small pipeline leaks is important due to no effect on transportation and long-term existence. The acoustic method of pipeline leak control is perspective, the diagnostic information of pipeline state is obtained from acoustic channel (interact directly with transport liquid). The mathematical model of calculating attenuation of test signal is improved. The estimating of power for test signal is given with the use of mathematical model, taking into account the geometrical parameters of leaks (circle or ellipse (crack)). The information module, which allows calculation of the model parameters, is developed. Thus, the obtained data show that the reflection coefficient of round hole is less than for crack-type discontinuity with open equal to the leak diameter. The developed information module allowed estimating the maximum possible distance to the leak, taking into account the pipeline's parameters, the transportation conditions, and power of test signal.

Keywords: mathematical model, pipeline, attenuation coefficient, acoustic method.

Постановка задачі

Однією з причин зміни технічного стану трубопроводів є поява витоків, які зумовлені виникненням і розвитком дефектів, метеорологічними умовами, пошкодженням або неякісним проведенням ремонтних робіт, просіданням ґрунту чи несанкціонованими врізаннями. Відомо, що аварійні витoki поділяють на великі і малі [1, 2]. До малих витоків газу відносять такі, відносний розмір яких не перевищує 1 % від номінальної пропускної здатності газопроводу (за розрахунками діаметр 5–10 мм, який відповідає реальним розмірам наскрізних корозійних свищів) [2]. Великі витoki мають вплив на параметри режиму роботи трубопроводу, тому вони можуть бути досить швидко виявлені і локалізовані. Вплив малих витоків (свищів) на параметри режиму трубопроводу несуттєвий (максимальна зміна тиску газу внаслідок появи малого витоку – 0,05 МПа), тому виявити їх важко. Втрата продукту і екологічна шкода при цьому можуть бути більшими, ніж у випадку великих витоків внаслідок довготривалого існування малих витоків.

Аналіз досліджень та публікацій

На даний час існуючі системи та методи контролю витоків з трубопроводів класифікуються за: режимом роботи трубопроводу; періодичністю застосування; вимірюваними параметрами; фізичними явищами; принципом дії. Аналіз відомих методів і шляхів їх реалізації [1–4] показав відсутність сьогодні загальноприйнятих методів, які б задовольняли вимогам, що висуваються до систем контролю за витками (точність, оперативність локалізації, виявлення малих витоків). Неможливість проведення ефективного контролю витоків часто зумовлена складністю конфігурації технологічної об'єкти та значним рівнем шуму в середовищі, яке оточує трубопровід. Тому перспективним при виявленні місця витоку з трубопроводу є застосування акустичного методу контролю витоків [5, 6], який ґрунтується на аналізі інформації з гідроакустичного каналу трубопроводу (взаємодія безпосередньо з середовищем транспортування). Оскільки взаємодія відбувається безпосередньо з середовищем транспортування, то звідси випливає головний недолік застосування методу – необхідність доступу до продукту транспортування, що не завжди технічно можна реалізувати. Разом з тим головними перевагами застосування акустичного методу контролю витоків є незалежність від зовнішніх умов функціонування трубопроводу (кліматичні умови, сторонні шуми) та оперативність виявлення витоків.

Виділення невирішених частин

При застосуванні тестового акустичного методу контролю трубопроводів важливим є розрахунок параметрів тестового сигналу та оцінка чутливості методу при використанні його на обраній ділянці трубопроводу. Така оцінка зумовлена різними геометричними розмірами (діаметр, товщина стінки, контрольована довжина трубопроводу), технологічними параметрами, розмірами та формою витоку, який необхідно виявити. Аналіз дефектів, проведений авторами [2], показав, що за формою отвори витоків можуть бути лише щільні або круглі. Тому актуальним є дослідження впливу форми витоку на математичну модель поширення акустичних коливань в середовищі транспортування трубопроводу.

Формулювання цілей

Опираючись на вищенаведене основною метою роботи є вдосконалення математичної моделі розрахунку необхідної потужності тестового акустичного сигналу для виявлення неоднорідності стінки трубопроводу з врахуванням її геометричних розмірів. До неоднорідностей стінок трубопроводу відносяться різкі повороти, місця відведень, встановлення клапанів, витоки. Для вирішення окресленої мети ставляться наступні цілі дослідження:

- проаналізувати вплив акустичної провідності отворів різної форми (витоків) на акустичну модель трубопроводу;
- вдосконалити математичну модель для розрахунку коефіцієнта відбивання тестового акустичного сигналу від неоднорідності стінки трубопроводу з врахуванням її геометричних розмірів;
- розробити web-орієнтований програмний компонент для розрахунку величини згасання тестового сигналу при поширенні його в середовищі заповнення трубопроводу та відбиванні від неоднорідності;
- дати кількісну оцінку максимальної відстані розміщення витоку від джерела генерування тестового сигналу з врахуванням геометричних розмірів неоднорідності.

Вплив акустичної провідності отворів різної форми (витоків) на математичну модель ділянки трубопроводу

Схематичне представлення процесу генерування, поширення акустичних коливань та реєстрування відбитих від неоднорідностей сигналів за акустичним методом контролю витоків показано на рис. 1.

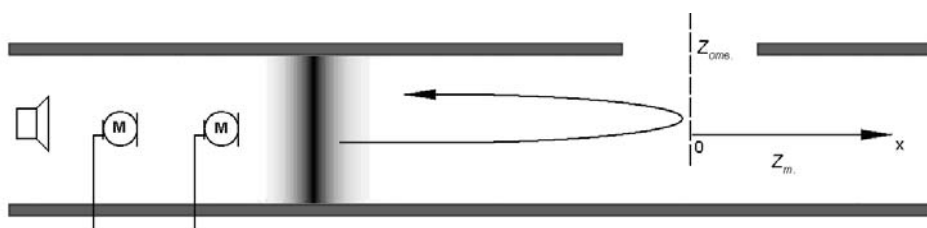


Рис. 1. Схематичне представлення процесу поширення звукових коливань в трубопроводі з витоком та реєстрування відбитих від витоку сигналів

Математична основа акустичного методу контролю витоків з трубопроводів полягає в побудові дискретної функції передачі, яка для випадку трубопровідної системи без втрат має вигляд [1]:

$$W(z) = \frac{0,5(1+r_G) \prod_{k=1}^N (1+r_k) z^{-N/2}}{D(z)}, \quad (1)$$

де $W(z)$ – дискретна функція передачі трубопровідної системи (z -перетворення);

r_G – коефіцієнт відбивання на границі трубопроводу (вхідний вплив в точці генерування тестового сигналу);

k – номер ділянки трубопроводу, в якій поширюється плоска хвиля;

N – кількість ділянок розбиття трубопроводу;

r_k – коефіцієнт відбивання плоскої хвилі від k -го з'єднання;

$D(z)$ – поліном змінної z^{-1} , який у випадку $r_G = 1$ обчислюється за рекурсивною формулою:

$$\begin{aligned} D_0(z) &= 1; \\ D_k(z) &= D_{k-1}(z) + r_k z^{-k} D_{k-1}(z^{-1}), \quad k = 1, 2, \dots, N; \\ D(z) &= D_N(z). \end{aligned} \quad (2)$$

Наведена дискретна модель труби без втрат характерна для випадку відсутності місцевих неоднорідностей системи. Поява наскрізних витоків в трубопроводі веде до появи додаткового впливу на процес розповсюдження хвиль в середовищі транспортування за рахунок акустичного опору отвору $Z_{овс}$, який за [7] визначається:

$$Z_{овс} = i \rho c k / Y_{овс}, \quad (3)$$

де $i = \sqrt{-1}$;

ρ – густина середовища, кг/м³;

c – швидкість поширення акустичних коливань в середовищі, м/с;

$k = \omega / c$ – хвильове число, $\omega = 2\pi f$, де f – частота тестового сигналу, Гц;

$Y_{овс}$ – провідність отвору:

$$Y_{овс} = 2\pi r_{овс}^2 / (2h_{овс} + \pi r_{овс}), \quad (4)$$

де $r_{омв}$ і $h_{омв}$ – радіус і глибина (товщина стінки труби) отвору, м.

Використання залежності (3) дозволяє узагальнити наведену модель (1)-(2) для випадку існування витоку по довжині трубопроводу з врахуванням зміни акустичного опору (імпедансу) каналу передачі (рідини чи газу) і виявляти діагностичні ознаки наявності витоку (координату та оцінка розміру) за видом імпульсної характеристики трубопровідної системи. Слід зазначити, що визначення акустичного опору відкритого відводу у формі (3) справедливо лише для випадку, коли $kl \ll 1$ (короткі труби або низькі частоти), де l – довжина відводу (або товщина стінки трубопроводу), м.

Алгоритм розрахунку коефіцієнта відбивання від місця неоднорідності полягає у розрахунку акустичного імпедансу т. 0 за рис. 1 та визначення коефіцієнта відбивання по тиску від місця розгалуження.

Акустичний імпеданс в точці розгалуження (т. 0 рис. 1) по аналогії з електричним колом при паралельному з'єднанні дорівнює [8]:

$$Z_{ак} = \frac{Z_m Z_{омв}}{Z_m + Z_{омв}}. \quad (5)$$

Якщо труба достатньо довга, то її акустичний імпеданс

$$Z_m = \rho c / S, \quad (6)$$

де S – площа перетину труби.

Тоді коефіцієнт відбивання по тиску від місця розгалуження

$$V_p = \frac{Z_{ак} - \rho c / S}{Z_{ак} + \rho c / S}. \quad (7)$$

Коефіцієнт проходження по енергії

$$W = 1 - |V_p|^2. \quad (8)$$

Форма витоку в наведеній моделі поширення акустичних коливань в трубопроводі (1)–(7) враховується через провідність витоку $Y_{омв}$. Щільну форму витоку можна апроксимувати еліпсом. Акустична провідність еліпса $Y_{ел}$ за [9] визначається за формулою:

$$Y_{ел} = 2\sqrt{\frac{S_{ел}}{\pi}} \left(1 + \frac{e^4}{64} + \frac{e^8}{64} + \dots \right), \quad (9)$$

де $S_{ел}$ – площа отвору, м²;

e – ексцентриситет. Для випадку круглого отвору ($e = 0$) за (9) маємо:

$$Y_o = 2\sqrt{\frac{\pi d^2}{4\pi}} = d, \quad (10)$$

де Y_o – акустична провідність круглого отвору, м;

d – діаметр отвору, м.

Повна акустична провідність отвору в стінці труби (або відгалуження труби довжиною l) з врахуванням краєвих ефектів [9]:

$$\frac{1}{Y_{омв}} = \frac{1}{Y_l} + \frac{1}{Y_{ел}}, \quad (11)$$

де $Y_l = \frac{S}{l}$ – акустична провідність ділянки труби довжиною l і площею S .

Формула (11) зводиться до (4) при врахуванні, що $l = h_{омв}$ і $S = \pi r_{омв}^2$.

На рис. 2 представлено залежність модуля коефіцієнта відбивання $|V_p|$ від форми витоку.

Відповідно до розрахунку (рис. 2) встановлено, що мінімальне значення модуля коефіцієнта відбивання від місця витоку відповідає круглій формі витоку і збільшується зі збільшенням відношення великої півосі еліпса до малої.

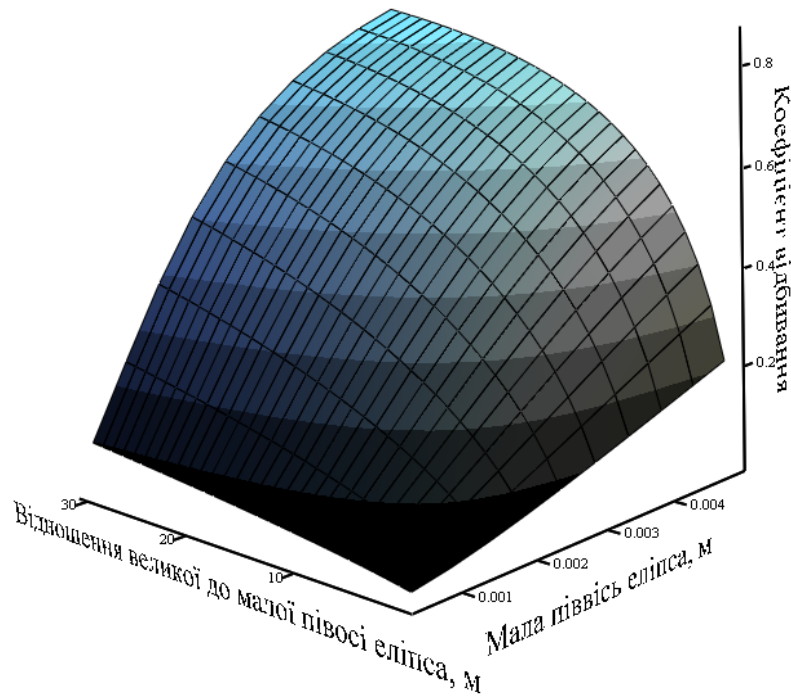


Рис. 2. Залежність модуля коефіцієнта відбивання від форми отвору в стінці трубопроводу діаметром 150 мм та товщиною стінки 3,25 мм для частоти тестового сигналу 50 Гц

Дослідження впливу геометричних розмірів неоднорідності та умов транспортування продукту на чутливість акустичного методу контролю витоків з трубопроводу

В [10] проведений аналіз впливу частоти генерування тестових сигналів на величину згасання акустичних коливань в середовищі, яке заповнює трубопровід. В [1, 10] показано, що врахування частотної залежності коефіцієнта згасання при виборі виду тестових сигналів дозволяє в рази збільшити відстань, на якій можна виявити витік. Необхідно враховувати, що відповідно до алгоритму виявлення витoku тестовий сигнал проходить подвійну відстань до витoku та спадає по амплітуді за рахунок відбивання від неоднорідностей. Отже, необхідна потужність U тестового сигналу визначається за формулою:

$$U = \Delta B + 2L\alpha, \quad (12)$$

де $\Delta B = 20 \lg |V|$ – згасання тестового сигналу на витках, дБ;

L – відстань до витку, км;

α – коефіцієнт поглинання акустичних коливань, що поширюються в середовищі заповнення трубопроводу, дБ/км.

Коефіцієнт поглинання α пов'язаний з коефіцієнтом загасання акустичних коливань β за формулою [8]:

$$\alpha = (20 \lg e) \beta, \quad (13)$$

$$\beta = \frac{b\omega^2}{2c^3\rho} + \frac{1}{a} \left[\frac{\eta\omega}{2c^2\rho} \right]^{1/2}, \quad (14)$$

де $b = \frac{4}{3}\eta + \xi$;

η – динамічна (зсувна) в'язкість, Па · с;

ξ – кінематична (об'ємна) в'язкість середовища транспортування;

c – швидкість звуку в середовищі транспортування, м/с;

$\omega = 2\pi f$ – циклічна частота, с⁻¹;

ρ – густина середовища, кг/м³;

a – характерний розмір труби (для круглого перерізу труби дорівнює її радіусу), м.

Для проведення розрахунків та оцінки можливості виявлення витоків з врахуванням впливу параметрів неоднорідності на імпульсну характеристику трубопроводу розроблено інформаційний модуль дослідження відбиваючих властивостей акустичної моделі ділянки трубопроводу (рис. 3), який реалізує розрахунок параметрів математичної моделі поширення акустичних коливань за формулами (1)–(7), (11) та (12)–(14).

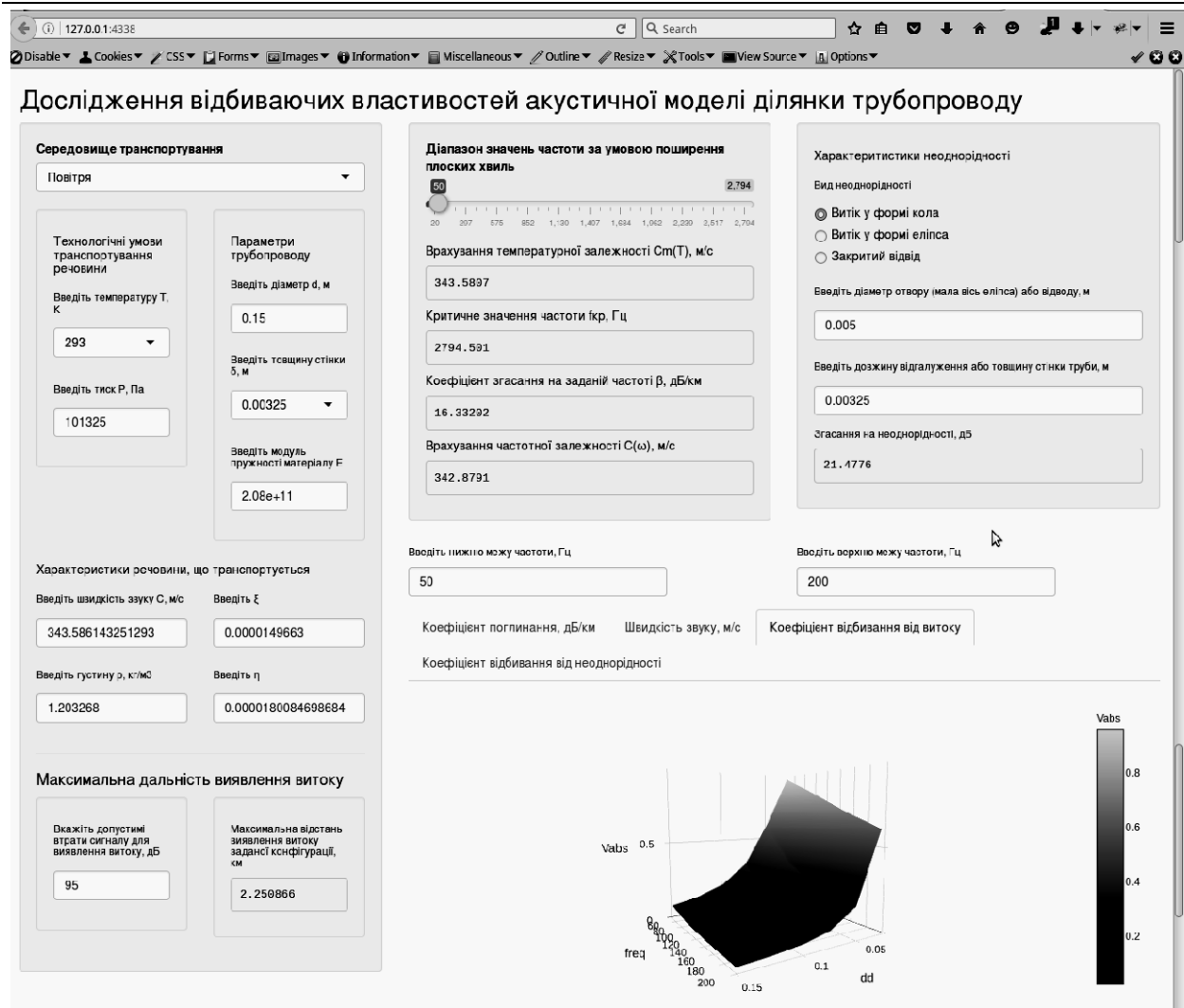


Рис. 3. Інформаційний модуль дослідження впливу неоднорідності стінки трубопроводу на параметри математичної моделі

Інформаційний модуль розроблено в середовищі програмування з відкритим кодом R, що розповсюджується на основі ліцензії GNU. Вибір середовища зумовлено простотою реалізації web-інтерфейсу (пакет Shiny), потужною графічною системою та можливістю публікації розробленого модуля на Shinyapps.io (платформа як послуга (PaaS) для розміщення web-додатків Shiny).

Вихідна інформація для інформаційного модуля:

- вибір середовища, яке транспортується (повітря, метан, аміак, природний газ) з можливістю корекції значень, від яких залежить коефіцієнт загасання (густини, кінематичної (або динамічної) в'язкості, швидкості звуку в необмеженому середовищі);
- визначення геометричних розмірів та матеріалу стінок трубопроводу (вибір величини діаметру трубопроводу, товщини стінки, введення значення модуля пружності матеріалу стінки) для розрахунку уточненого значення швидкості поширення коливань;
- визначення технологічних умов транспортування (тиск, температура).

На основі введених даних обчислюється діапазон значень частоти, з якого обирається частота несучої тестового сигналу; уточнене значення швидкості поширення коливань в середовищі заповнення трубопроводу та коефіцієнт загасання для обраного значення з частотного діапазону. Для дослідження залежності величини коефіцієнта загасання від діаметру трубопроводу та допустимої частоти тестового сигналу проводить графічна тривимірна побудова. Аналогічно реалізована побудова залежності швидкості поширення коливань в середовищі від частоти генерування тестового сигналу та діаметру трубопроводу.

Вплив неоднорідностей на математичну модель реалізовано на основі обчислення коефіцієнту відбивання (або загасання на виток в дБ) від заданої конфігурації: круглий отвір в стінці трубопроводу (визначається діаметром і товщиною стінки); еліптична форма отвору (відповідає щілині, визначається діаметром розкриття, ексцентриситетом і товщиною стінки); відгалуження заданої довжини (задається діаметром та довжиною) відкрите (або закрите).

Результати моделювання

З використанням розробленого інформаційного модуля одержано результати моделювання впливу неоднорідностей круглої (отвір) та еліптичної (щілина) форми на максимальну дальність виявлення витоків (табл. 1).

Таблиця 1

Максимальна дальність виявлення витоків круглої та еліптичної (щілинної) форми

Середовище транспортування	Діаметр труби, м	Товщина стінки, м	Частота, Гц	Коефіцієнт поглинання, дБ/км	Круглий отвір			Еліпс (ексцентриситет=0,94)		
					Діаметр витоку, м	Згасання на витоку, дБ	Дальність виявлення (спад амплітуди у 95 дБ), км	Діаметр розкриття щілини (мала вісь), м	Згасання на витоку, дБ	Дальність виявлення (спад амплітуди у 95 дБ), км
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Повітря	0,05	0,002	50	48,9	0,002	-12,47	0,84	0,001	-14,27	0,82
					0,003	-7,71	0,89	0,002	-6,18	0,91
			100	69,29	0,002	-18,3	0,55	0,001	-20,17	0,54
					0,003	-13,13	0,59	0,002	-11,34	0,60
	0,150	0,00325	50	16,3	0,002	-33,91	1,87	0,001	-35,96	1,8
					0,003	-28,18	2,04	0,002	-26,15	2,11
					0,005	-21,48	2,25	0,003	-20,89	2,27
			100	23,1	0,002	-39,93	1,19	0,001	-41,98	1,14
					0,003	-34,19	1,32	0,002	-32,16	1,36
					0,005	-27,47	1,46	0,003	-26,88	1,47
Метан	0,150	0,00325	50	12,84	0,002	-31,64	2,47	0,001	-33,69	2,38
					0,003	-25,92	2,69	0,002	-23,88	2,77
					0,005	-19,23	2,95	0,003	-18,64	2,97
			100	18,1	0,002	-37,66	1,57	0,001	-39,71	1,52
					0,003	-31,93	1,74	0,002	-29,89	1,79
					0,005	-25,21	1,92	0,003	-24,62	1,94
Аміак	0,150	0,00325	50	12,14	0,002	-32,27	2,58	0,001	-34,33	2,49
					0,003	-26,54	2,82	0,002	-24,51	2,90
					0,005	-19,85	3,09	0,003	-19,27	3,11
			100	17,17	0,002	-38,29	1,65	0,001	-40,34	1,59
					0,003	-32,59	1,82	0,002	-30,52	1,88
					0,005	-25,84	2,01	0,003	-25,25	2,03

На основі одержаних результатів на прикладі середовища заповнення трубопроводу повітря встановлено, що для малих діаметрів трубопроводу суттєвим з спад амплітуди відбитого тестового сигналу за рахунок проходження ним подвійної відстані, тоді як спад амплітуди на малих витках є незначним. Відповідно максимальна відстань, на якій можливо виявити витік круглої форми не перевищує 0,89 км на частоті тестового сигналу 50 Гц і зменшується із збільшенням частоти (табл. 1). Максимальна відстань до витоку за методом, який розглядається, суттєво залежить від речовини, що транспортується. Коефіцієнт відбивання від неоднорідності збільшується із збільшенням діаметру витоку, а, отже, згасання тестового сигналу (послаблення амплітуди в дБ) на витоку зменшується. Коефіцієнт відбивання від витоку щілинного типу є більшим за аналогічний коефіцієнт для круглого отвору, тому неоднорідності такого типу краще проявляються на імпульсній характеристиці трубопроводу. Дальність виявлення витоку за даними табл. 1 максимальна для середовища транспортування аміак і становить приблизно 3,11 км для щілини з розміром розкриття 3 мм.

Спад амплітуди тестового сигналу при відбиванні від круглого відводу діаметром 5 мм у вигляді трубки в стінці трубопроводу діаметром 150 мм при зміні довжини відгалуження та частоти сигналу показано на рис. 4.

Різниця амплітуд відбитого і падаючого сигналів від довжини відгалуження та частоти несучої сигналу

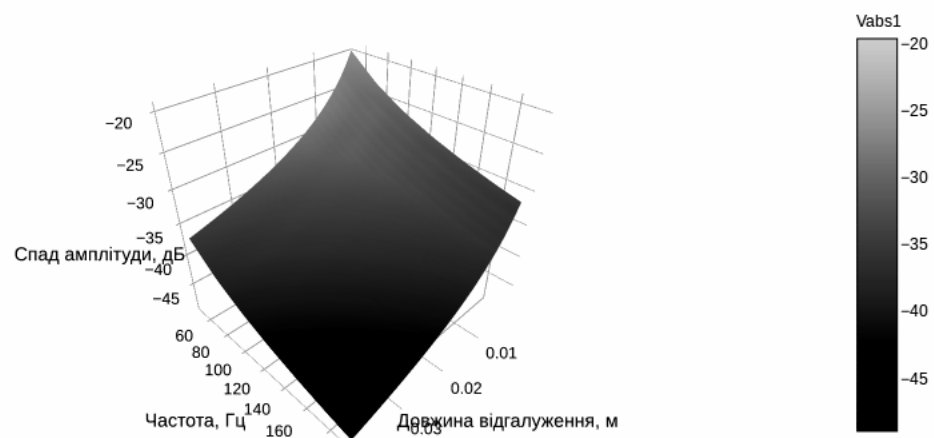


Рис. 4. Результат оцінки відбиваючих властивостей відгалуження від трубопроводу діаметром 150 мм

Отже, відгалуження на шляху поширення тестового сигналу (рис. 4) вносить додаткове послаблення амплітуди відбитого сигналу, що необхідно враховувати при виборі частоти несучої та виявлення витоків на максимальній відстані від джерела сигналу. При цьому такий вплив в залежності від довжини відгалуження зростає із збільшенням частоти.

Висновки

- Досліджено залежність коефіцієнта відбивання тестового сигналу від форми неоднорідності. Встановлено, що коефіцієнт відбивання від круглого отвору менший ніж від неоднорідності щілинного типу з розкриттям, яке дорівнює діаметру витоку.
- Розроблений інформаційний модуль дозволяє оцінити максимальну відстань, на якій можна виявити витік з врахуванням заданої потужності генерування тестового сигналу, продукту транспортування та геометричних розмірів трубопроводу, що є важливим при прийнятті рішення про можливість застосування акустичного методу контролю витоків на конкретній ділянці трубопроводу.
- Одержані дані моделювання узгоджуються з експериментальними даними, які одержано при проведенні досліджень в лабораторних умовах на модельному трубопроводі $\varnothing 50$ мм та в польових умовах на технологічному трубопроводі $\varnothing 150$ мм [1].

Література

1. Заміховський Л. М. Контроль витоків з магістральних та технологічних трубопроводів : монографія / Л. М. Заміховський, Л. О. Штаєр. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2013. – 224 с.
2. Карпаш О. М. Технічна діагностика систем нафтогазопостачання / О. М. Карпаш, М. П. Возняк, В. М. Василюк. – Івано-Франківськ : Факел, 2007. – 341 с.
3. Матіко Ф. Д. Метод виявлення витоків природного газу із ділянок газорозподільних мереж за умови зміни тиску газу / Ф. Д. Матіко, Б. І. Прудніков, М. І. Олійник // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. – 2013. – № 758. – С. 170–178.
4. Grudz V. Ya. The research of gas leak from the pipeline / V. Ya. Grudz, Ya. V. Grudz, N. Ya. Drin, R. B. Stasiuk // Journal of hydrocarbon power engineering. – 2014. – Vol. 1, Iss. 2. – С. 103–107.
5. Пат. 83290 Україна, МПК G 01 N 29/04, G 01 M 3/24. Спосіб локалізації місця витоку речовини з трубопроводу та система для його здійснення / Заміховський Л. М., Ровінський В. А., Штаєр Л. О. ; заявник і патентовласник науково-виробнича фірма «Еквідко». – № a200610331 ; заявл. 28.09.06 ; опубл. 25.06.2008, Бюл. № 12.
6. Заміховський Л. М. Автоматизована система виявлення витоків в промислових трубопроводах / Л. М. Заміховський, В. А. Ровінський, Л. О. Штаєр // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 3 Т. 1. – С. 179–181.
7. Кузнецов Л. А. Акустика музыкальных инструментов : справочник / Л. А. Кузнецов. – М. : Легпромбиздат, 1989. – 368 с.
8. Акустика в задачах / [Бархатов А. Н., Горская Н. В., Горюнов А. А. и др.] ; под ред. С. Н. Гурбатова и О. В. Руденко. – М. : Наука. Физматлит, 1996. – 336 с.
9. Лепендин Л. Ф. Акустика : учеб. пособие / Л. Ф. Лепендин. – М. : Высшая школа, 1978. – 448 с.
10. Заміховський Л. М. Дослідження впливу частоти генерування тестових сигналів на максимальну відстань виявлення витоків з трубопроводів / Л. М. Заміховський, Л. О. Штаєр, В. А. Ровінський // Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ, 2010. – № 25. – С. 60–66.

Рецензія/Peer review : 1.6.2016 р. Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Юришин В. М.

І.М. ПАСТУХ, Г.М. СОКОЛОВА

Хмельницький національний університет

В.М. ШУЛАЄВ

ООО «НПП «НИТТИН»

І.Ф. МИХАЙЛОВ, С.В. СУРОВИЦЬКИЙ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ОСОБЛИВОСТІ АЗОТУВАННЯ СЕРЕДНЬОВУГЛЕЦЕВИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ З НЕЗАЛЕЖНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Проведено дослідження елементного і фазового складу, структури та мікротвердості модифікованої поверхні зразків зі сталі 45 безводневим азотуванням в тліючому розряді варіацією енергетичних параметрів. Найбільше значення мікротвердості в модифікованому поверхневому шарі досягається при максимальному енергетичному впливі (великій густині розрядного струму і високій напрузі між електродами розрядної камери) на поверхню, поряд з групою традиційних режимних технологічних параметрів (температура зразків, тиск газової суміші в розрядній камері, склад газової суміші, тривалість процесу азотування).

Ключові слова: безводнєве азотування, тліючий розряд, енергетичні параметри, фазовий склад.

I.M. PASTUKH, G.M. SOKOLOVA

Khmelnytskyi National University

V.M. SHULAYEV

LTD «SPE «NITTIN»

I.F. MIKHAYLOV, S.V. SUROVITSKIY

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

FEATURES OF NITRIDING OF MEDIUM-CARBON STRUCTURAL STEEL IN THE GLOW DISCHARGE WITH INDEPENDENT PARAMETERS

Have been conducted investigations of elemental and phase compositions, structure and microhardness for modifying surface of steel 45 samples in non-hydrogen glow-discharge via variation of energetic parameters. Maximum microhardness value in modifying surface layer has been achieved during maximum energetic impact the surface (significant discharge current and high voltage between electrodes of the discharge chamber), along with the group of traditional technological parameters (temperature of the samples, pressure of the gas mixture within the discharge chamber, composition of the gas mixture, duration of the nitriding process). Saturation with nitrogen of modified surface of steel 45 is the combined effect of exposure the stream of particles, components of which are ions of atomic and molecular nitrogen, as well as the rapid neutral.

Keywords: non-hydrogen nitriding, glow-discharge, energetic parameters, phase compositions.

Вступ

Азотування в тліючому розряді має цілу низку істотних переваг [1, 2]. Найважливіша перевага – інтенсифікація процесу азотування порівняно з класичним пічним низькотемпературним газовим азотуванням в аміаку [3]. Основним недоліком обох традиційних технологій є застосування насичуючих газових середовищ на основі аміаку, який найближчим часом, ймовірно, буде обмежений до застосування як речовина, що має отруйні властивості.

Новим етапом розвитку технології стало безводнєве азотування в тліючому розряді [4]. Відмова від використання аміаку в процесі азотування виключає воднєве окрихчення і забезпечує екологічну чистоту процесу [5].

Аналіз джерел за темою дослідження

Основні субпроцеси, характерні для азотування в тліючому розряді, відбуваються на межі розділу “розріджене активізоване газове середовище – поверхня металу і пов’язаної з нею області катодного падіння потенціалу (ОКП) [6, 7]. Тліюче світіння відбувається в області позитивного стовпа (низькотемпературної плазми), яка являє собою іонізований квазінейтральний стан (приблизна рівність концентрацій часток різної полярності). В ОКП ж квазінейтральність за визначенням неможлива [8]. Тому регулювання процесу модифікації поверхні при безводневому азотуванні в тліючому розряді здійснюється варіацією не тільки традиційних технологічних параметрів (температура зразків, тиск газової суміші в розрядній камері, склад газової суміші, тривалість процесу азотування – це так звана група режимних параметрів), але й енергетичних (густина розрядного струму і напруга між електродами розрядної камери). Вплив групи традиційних технологічних параметрів на формування і властивості азотованих поверхневих шарів досить добре вивчено [9]. Однак роль енергетичних параметрів на процеси модифікації сталевих поверхонь, на сьогоднішній день, практично не висвітлена.

Постановка завдання

На прикладі зразків сталі 45 дослідити перебіг процесу модифікації поверхні в умовах безводневого азотування в тліючому розряді залежно від густини розрядного струму і напруги між електродами розрядної камери. Сталь 45 є дуже зручним об’єктом дослідження, оскільки процеси насичення азотом і фазоутворення можна порівнювати з діаграмою стану залізо-азот.

Виклад основного матеріалу

1. Методика експерименту

1.1. Устаткування для безводневого азотування в тліючому розряді. Експериментальні дослідження проводилися на промисловій установці БАТР-1.7.11/6 [10], яка призначена для азотування в тліючому розряді діодного типу на постійному розрядному струмі в безводневих газових середовищах. Непрямий нагрів зразків здійснювався вбудованим автономним нагрівальним елементом. Контроль температури проводився за допомогою пірометра моделі АПРС-М. Вимірювальна система пірометра тарована в умовах, аналогічних реальному тліючому розряду.

1.2. Аналіз елементного складу. Дослідження елементного складу виконано на енергодисперсійному рентгенофлуоресцентному спектрометрі “Спрут” виробництва АТ “Укррентген” з SDD детектором X-123 (Amptek, США) [11]. Ідентифікація марки сталі проводилася шляхом визначення восьми хімічних елементів, включаючи вуглець [12].

1.3. Дослідження фазового складу, структури та мікротвердості. Рентгенофазовий аналіз здійснювався на дифрактометрі ДРОН-3 у фільтрованому випромінюванні залізного анода, в діапазоні кутів $2\theta = 20 \div 100^\circ$ з кроком сканування $0,1^\circ$ і часом експозиції 10 с. Рентгенознімки виконувались від плоских торців циліндричних зразків, підданих азотуванню в глибину модифікованого шару. Розміри областей когерентного розсіювання в азотомістких фазах визначалися методом апроксимації. Мікротвердість визначалась на приладі ПМТ-3 з фіксацією значень мікротвердості $HV_{0,1}$ як на поверхні, так і на певній відстані від поверхні в глибину зразка.

1.4. Матеріал і форма зразків. Об'єктами дослідження слугували зразки зі сталі 45 в стані поставки з металургійного заводу. У рядку «ГОСТ» (табл. 1) зазначений хімічний склад сталі, що відповідає стандарту за постійними домішками, які вводяться в сталь спеціально [13]. За випадковими домішками контроль хімічного складу сталі 45 ГОСТом не передбачено. Результати вхідного аналізу хімічного складу сталі 45, яка піддавалася дослідженням, наведені в таблиці 1 (рядок «Аналіз»).

Таблиця 1

Хімічний склад сталі 45 (залізо – основа)

Елементи	C	Al	Si	P	S	Ti	Cr	Mn
ГОСТ	0,42–0,50	–	0,17–0,37	–	–	–	≤0,25	0,50–0,80
Аналіз	0,41	0,099	0,37	0,017	0,029	0,076	0,07	0,575

Всі виявлені домішки: марганець, кремній, алюміній, сірка і фосфор відносяться до постійних домішок в сталі 45 в допустимих межах за концентрацією. Алюміній разом з марганцем і кремнієм застосовуються в якості розкиснювача під час плавлення сталі і тому вони завжди в малих кількостях присутні в сталі 45. Випадковою домішкою є титан, який у виявлених кількостях разом з алюмінієм при азотуванні покращує властивості модифікованого шару, сприяючи утворенню нітридних фаз. Зміст фосфору не перевищує меж його розчинності в фериті. Його присутність в твердому розчині покращує характеристики міцності сталі. Ефект окрихчення за рахунок зерномежевої сегрегації фосфору виключений через малий його вміст в сталі. Вміст сірки дуже малий (менше 0,03%), що відповідає її концентрації в високоякісних сталях. Всі елементи, які виявлені в сталі 45 за результатами аналізу, за кількістю розглядаються як домішки, включаючи і хром. Легуючою добавкою є тільки вуглець.

Таким чином вхідний контроль хімічного складу показав, що дослідженню піддавалися зразки сталі 45, які повністю відповідають стандарту на якісну конструкційну сталь.

Форма зразків циліндрична, діаметр 5 мм, довжина 20 мм. Для створення азотованого шару плоскі торці зразків піддавалися обробці. Зразки були досліджені на предмет поглинання аргону в процесі азотування в розрідженій активізованій газовій суміші, що містить аргон. Присутності аргону в поверхневому шарі сталі 45 виявлено не було. Розчинність аргону в сталі 45 – відсутня, а імплантації іонізованого аргону при використаних енергетичних параметрах не спостерігалось. Тому всі результати, отримані в цій роботі, пов'язані із взаємодією на межі поділу розрідженого активізованого азоту газової суміші з поверхнею сталі 45.

2. Результати експериментів

Результати експериментів зведені в таблиці 2 і 3. Безводнєве азотування зразків в тліючому розряді відбувалося у газовій суміші азот-аргон (80 % азоту, 20 % аргону), при температурі 560°C протягом 4 годин при зазначених режимах за тиском газової суміші, густиною розрядного струму і напругою між електродами розрядної камери (див. табл. 2, рядки 1, 2 і 3). Склад газового середовища, температура та тривалість азотування не варіювались, оскільки вони відповідають оптимальним, встановленим раніше [4].

Результати рентгенофазового аналізу плоских торцевих поверхонь, підданих азотуванню, наведені в таблиці 2, рядки 4, 5, 6. Середній розмір (L) областей когерентного розсіювання рентгенівського випромінювання для γ' -фази наведено в рядку 7. Дані з мікротвердості поверхні зразків показані в рядку 8. Розподіл мікротвердості за глибиною модифікованого поверхневого шару сталі 45 при безводневому азотуванні в тліючому розряді наведено в таблиці 3.

Таблиця 2

Зведені дані результатів безводневого азотування в тліючому розряді

Технічні характеристики	Номер режиму								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Тиск p , Па (мм рт. ст.)	53 (0,4)			107 (0,8)			160 (1,2)		
2. Напруга U , В	1100	820	515	840	515	300	700	515	300
3. Густина розрядного струму j , А/м ²	11	7,2	3,2	13,2	7,2	2,8	15,8	12,8	7,2
4. Інтенсивність (111) Fe ₄ N, відн. од.	170	165	–	110	53	45	135	97	–
5. Інтенсивність (211) Fe ₂ N, відн. од.	20	20	–	8	–	–	18	9	–
6. Інтенсивність (110) Fe, відн. од.	110	70	310	65	195	220	48	30	200
7. $L(\text{Fe}_4\text{N})$, нм	31,6	31,6	–	44,2	49,5	51,5	47,6	49,5	–
8. HV _{0,1} мікротвердість на поверхні	563	509	269	523	442	383	594	506	239

Таблиця 3

Розподіл мікротвердості сталі 45 за глибиною модифікованого шару

Номер режиму	Відстань від поверхні вглибину зразка, мкм							
	0	25	50	100	200	300	500	1000
1	563	343	321	316	298	299	275	220
2	509	333	315	310	294	277	249	209
3	269	295	286	281	279	261	234	212
4	523	335	328	312	306	291	269	206
5	442	306	306	300	304	292	263	212
6	383	296	306	283	285	268	237	204
7	594	364	354	324	297	273	261	221
8	506	321	310	298	262	261	221	220
9	239	211	204	210	202	198	201	203

3. Обговорення результатів експериментів

3.1. *Фазовий склад.* При тиску газової суміші 0,4 мм рт. ст. азотування залежно від густини розрядного струму і прикладеної напруги між електродами розрядної камери привело до формування наступних нітридних фаз. При напрузі 1100 В і густині розрядного струму 11 А/м² формується дифузійний шар, що містить ξ -, γ' - і α -фазу. Причому кількість γ' -фази приблизно в 8 разів перевершує вміст ξ -фази. Зі зниженням величини напруги (820 В) і густини розрядного струму (7,2 А/м²) формується дифузійна зона, яка містить також ξ -, γ' - і α -фазу. При малому значенні напруги (515 В) і низькій густині розрядного струму (3,2 А/м²) формується зона, яка містить тільки α -фазу.

При тиску газової суміші 0,8 мм рт. ст. азотування залежно від густини розрядного струму і прикладеної напруги між електродами розрядної камери привело до формування наступних нітридних фаз. При напрузі 840 В і густині розрядного струму 13,2 А/м² формується дифузійний шар, що містить ξ -, γ' - та α -фазу, але з малою кількістю ξ -фази при помітній кількості γ' -фази. Зниження напруги (515 В і 300 В) і зменшення густини розрядного струму (7,2 А/м² і 2,8 А/м²) призводить до зменшення кількості γ' -фази, при відсутності ξ -фази.

При тиску газової суміші 1,2 мм рт. ст. азотування залежно від густини розрядного струму і прикладеної напруги між електродами розрядної камери привело до формування наступних нітридних фаз. При напрузі 700 В і 515 В з густиною розрядного струму 15,8 А/м² і 12,8 А/м² відповідно формується дифузійний шар, що містить ξ -, γ' - і α -фазу. Зниження напруги і зменшення густини розрядного струму призводить до формування в азотованому шарі тільки α -фази.

Таким чином, дослідження фазового складу модифікованих шарів поверхні сталі 45 після безводневого азотування в тліючому розряді при трьох різних тисках газової суміші азот-аргон виявило наявність вищого нітриду заліза ξ -фази – Fe₂N зі зростанням показників енергетичних параметрів процесу, а також повну відсутність ε -фази – Fe₂₋₃N. Основною фазою у всіх експериментах була α -фаза (N-ферит). Через це такі результати з безводневого азотування в тліючому розряді сталі 45 корисно зіставити з даними з азотування заліза в середовищі аміаку при класичному пічному газовому азотуванні [3] та іонному (в тліючому розряді) азотуванні на установці ІОН-30 [9].

При насиченні азотом поверхні зразків сталі 45 в середовищі аміаку нижче температури евтектоїдного розпаду (590 °С) формування дифузійної зони має відповідати загальному правилу, згідно з яким дифузія між двома компонентами викликає утворення однофазних шарів, відповідних однофазним областям діаграми стану залізо-азот, що перетинається ізотермою при температурі насичення. Послідовність розподілу нітридних фаз в азотованому шарі від поверхні в глибину зразка така сама, що й для однофазних областей на діаграмі стану [3]. Така послдовність утворення нітридних фаз в дифузійній зоні при азотуванні

заліза (сталей) в аміаку була багаторазово підтверджена, в тому числі і методом високотемпературної рентгенографії [3]. У роботі [14] це правило для насичення поверхні сталі в середовищі аміаку при температурах нижче евтектоїдної практично прирівнюється до універсального, не дивлячись на те, що утворювані фази в азотованому шарі відповідають метастабільній системі Fe-N. Відповідно до цього правила в метастабільній системі утворюються такі фази: α -фаза (N-ферит), яка являє собою азотистий ферит з ОЦК ґраткою; γ' -фазу, яка відповідає твердому розчину на базі нітриду Fe_4N з ГЦК ґраткою; ε -фазу – твердий розчин на базі нітриду $\text{Fe}_{2,3}\text{N}$, основою якої є щільна гексагональна упаковка атомів заліза. Окремо стоїть ξ -фаза – Fe_2N – вищий нітрид заліза. Вона має ромбічну ґратку з впорядкованими атомами азоту. Кристалічну структуру ξ -фази розглядають як видозмінену модифікацію ε -фази (псевдогексагональна). Вищий нітрид заліза стійкий при азотуванні в рівновазі з аміаком при температурі нижче 450 °С. При більш високих температурах в атмосфері аміаку він розпадається навіть при невеликому вмісті водню, оскільки водень як складова аміаку після його дисоціації має властивість відновлювати залізо з відповідним розпадом вищого нітриду. В цьому полягає принципово нова особливість безводневого азотування, оскільки наявність вищого нітриду в поверхневому модифікованому шарі неминуче змінює (в сторону покращення) трибологічні властивості поверхні.

У разі азотування в установці ІОН-30 в розрідженому аміаку фазовий склад нітридної зони може складатися з ε - або γ' -фази [9] (окремо по фазах чи сумісно). Загальновідома крихкість ε - фази не тільки сприятиме руйнуванню поверхні, але й утворенню в зоні контакту триботехнічної системи шару абразивних часток, що теж неминуче негативно вплине на зносостійкість. Саме крихкістю, як основною негативною особливістю ε -фази, пояснюється термін широко застосовуваний термістами-практиками «поверхня тріщить», що за своєю суттю не потребує подальшого тлумачення.

З зіставлення фазового складу модифікованого шару, отриманого за різними технологіями слідує, що при безводневого азотуванні в тліючому розряді поряд з групою традиційних режимних технологічних параметрів істотну роль в процесах фазоутворення в модифікованому шарі сталі 45 відіграють енергетичні параметри – густина розрядного струму і напруга між електродами розрядної камери.

3.2. Структура. При всіх режимах безводневого азотування в тліючому розряді розмір областей когерентного розсіювання γ' -фази змінювався зі зростанням тиску газової суміші від 31,6 до 51,5 нм (рядок 7, табл. 2). Таким чином насичення азотом модифікованої поверхні сталі 45 не пов'язане з помітною зміною зерен структури нітридної γ' -фази (ефект слабкої рекристалізації). Для ε -фази середній розмір областей когерентного розсіювання не визначався. Основна α -фаза (N-ферит) в процесі насичення азотом зерен структуру не змінювала. Зміна розміру областей когерентного розсіювання рентгенівського випромінювання навряд чи могла помітним чином вплинути на мікротвердість модифікованої поверхні зразків (рядок 8, табл. 2), хоча ці відмінності мікротвердості суттєво значущі.

3.3. Мікротвердість. Найбільш чутливою характеристикою до насичення азотом модифікованої поверхні при варіації енергетичних параметрів виявилася мікротвердість. Вона істотно змінюється не тільки на поверхні (рядок 8, табл. 2), але й в глибину азотованого шару (табл. 3). При тиску 1,2 торр зі збільшенням напруги і густини розрядного струму мікротвердість зростає з HV239 до HV594. При тиску 0,8 торр підвищення потужності призводить до зростання мікротвердості з HV383 до HV523. При тиску 0,4 торр підвищення потужності призводить до зростання мікротвердості з HV269 до HV563. Така сильна залежність зміни мікротвердості в азотованому шарі від прикладеної напруги до електродів розрядної камери і збільшення густини розрядного струму вказує на важливу роль енергетичних параметрів. Однак у складі потоку часток, які бомбардують поверхню зразків з сталі 45 присутні, як результат резонансної перезарядки, швидкі нейтральні частки, які виникають в області катодного падіння потенціалу. На важливу роль нейтралей в тліючому розряді в процесі азотування було звернуто увагу в роботі [15]. Однак сьогодні швидкі нейтралі – це вже загальновизнаний факт [2, с. 148, 8].

3.4. Про важливу роль швидких нейтралей. Дослідження фазового складу і вимірювання мікротвердості дозволяють зробити висновок про те, що іонна компонента в складі потоку часток, які бомбардують поверхню зразків, є дуже істотною, але не єдиною. Щільність потоку швидких нейтральних часток порівнянна, а в деяких випадках перевищує густину потоку іонізованих (заряджених) часток. Швидкі нейтральні частки мають нижчу енергію, ніж заряджені, оскільки виникають в результаті резонансної перезарядки в області катодного падіння потенціалу в прилеглому до катода шарі, ширина якого приблизно дорівнює середній довжині вільного пробігу нейтралей, але можуть суттєво впливати на насичення модифікованого шару азотом. Швидкі нейтралі нами безпосередньо не реєструвалися, але їх існування виявлялося побічно. Температура, при якій виникає ξ -фаза (560 °С), значно вища за температуру її стійкого існування (450 °С) при нормальних умовах в рівновазі з аміаком. При відсутності водню у цієї фази виявляється більш широка температурна область існування.

Висновки

1. При модифікуванні поверхні сталі 45 безводневим азотуванням в тліючому розряді, крім врахування групи традиційних режимних технологічних параметрів (температура зразків, тиск газової суміші в розрядній камері, склад газової суміші, тривалість процесу азотування), необхідно враховувати і

енергетичні параметри (густину розрядного струму і напругу між електродами розрядної камери).

2. Насичення азотом модифікованої поверхні сталі 45 є сукупним результатом впливу на неї потоку часток, компонентами якого є іони атомарного і молекулярного азоту, а також швидкі нейтралі. Максимальна мікротвердість поверхні досягається при найбільшому енергетичному впливі на модифіковану поверхню поряд з дією групи традиційних режимних технологічних параметрів.

Література

1. Ионная химико-термическая обработка сплавов / [Б. Н. Арзамасов, А. Г. Братухин, Ю. С. Елисеев, Т. А. Панайоти]. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 400 с.
2. Берлин Е. В. Плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей / Е. В. Берлин, Н. Н. Коваль, Л. А. Сейдман. – М. : Техносфера, 2012. – 464 с.
3. Лахтин Ю. М. Азотирование стали / Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган. – М. : Машиностроение, 1976. – 256 с.
4. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. – Х. : ННЦ ХФТИ, 2006. – 364 с.
5. Пастух И. М. Азотирование в тлеющем разряде: состояние и перспективы / И. М. Пастух, Г. Н. Соколова, Н. В. Лукьянюк // Проблемы трибологии. – 2013. – № 3. – С. 18–22.
6. Пастух И. М. Субпроцессы при азотировании в тлеющем разряде / И. М. Пастух // Журнал технической физики. – 2014. – т. 84, вып. 9. – С. 60–65.
7. Пастух И. М. Вероятностные характеристики субпроцессов в тлеющем разряде / И. М. Пастух, Г. Н. Соколова // Доклады БГУИР. – 2016. – № 1 (95). – С. 45–50.
8. Пастух И. М. Нейтральные компоненты при азотировании в тлеющем разряде / И. М. Пастух // Журнал технической физики. – 2013. – т. 83, вып. 8. – С. 144–147.
9. Герасимов С. А. Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов / С.А. Герасимов, Л.И. Куксенова, В.Г. Лаптева. – 2-е изд., испр. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 518 с.
10. Шулаев В.М. Азотируем без аммиака! Основы технологии и оборудование / В. М. Шулаев, И. М. Пастух // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2009. – № 2. – С. 18–21.
11. Mikhailov I. F. Perspectives of Development of X-ray Analysis for Material Compositions / I. F. Mikhailov, A. A. Baturin, A. I. Mikhailov, L. P. Fomina // Functional Materials. – 2016. – № 1 (23). – P. 5–14.
12. Mikhailov I.F. Determination of Light Elements Content by Combining of X-ray Fluorescence and Diffraction Spectrum / I. F. Mikhailov, A. A. Baturin, A. I. Mikhailov, L. P. Fomina // Problems of Atomic Science and Technology. – 2013. – № 2. – P. 172–176.
13. ГОСТ 1050-88. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия. – М. : Стандартинформ, 2008. – 20 с.
14. Лахтин Ю.М. Диффузионные основы процесса азотирования / Ю. М. Лахтин // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1995. – № 7. – С. 14–17.
15. Tibbetts G. G. Role of nitrogen atoms in “ion-nitriding” / G. G. Tibbetts // J. Appl. Phys. – Vol. 45, No. 11, November 1974. – P. 5072–5073.

Рецензія/Peer review : 29.7.2016 р.

Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК: 677.075(477)

О.А. ПАРАСКА, В.О. КОВАЛЬСЬКА, Т.С. РАК

Хмельницький національний університет

О.К. ЧЕРВОНІЮК

ТОВ «Т-Стиль»

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНОГО АСОРТИМЕНТУ ВІТЧИЗНЯНИХ ТРИКОТАЖНИХ ВИРОБІВ

У статті розглянуто основний асортимент та волокнистий склад трикотажних матеріалів, які виробляються вітчизняними підприємствами текстильної промисловості. Наведено обсяги виробництва окремих видів готових трикотажних виробів та чинники, що впливають на випуск трикотажу в Україні. Визначено перспективи розвитку технологій виготовлення трикотажних полотен та виробів з них.

Ключові слова: трикотаж, трикотажні вироби, асортимент, волокнистий склад, технології.

O.A. PARASKA, V.O. KOVALSKA, T.S. RAK

Khmelnytskyi National University

O.K. CHERVONYUK⁴

T-Style" Ltd., Ukraine

ANALYSIS OF MODERN ASSORTMENT OF KNITTED PRODUCTS IN UKRAINE

The article considers assortment as well as textile fiber composition of knitted products manufactured by textile enterprises of Ukraine. The authors analyze factors that influence volumes of knitwear manufacturing. Father perspectives of textile technologies development are determined by the authors. Domestic production of knitwear is focused on meeting the needs of the consumer and is specialized on the quality output, which enjoys the greatest demand, according to market segmentation. The current market range of knitted material and technology of knitted production in Ukraine is developed according to the following trends: implementation of a continuous method of knitted fabrics processing; the intensification of the production processes of knitwear by replacing equipment with more efficient ones; the introduction of new technologies in dyeing and finishing of cloths; the establishment of automated production lines for the production of a cloth, hosiery.

Keywords: knitwear, knitted products, assortment, fiber composition, textile technologies.

Вступ

З розвитком індустрії моди та легкої промисловості спостерігається позитивна тенденція розширення асортименту текстильних матеріалів з новими властивостями. Одними із найбільш популярних є вироби з трикотажу. Завдяки таким властивостям як гігієнічність, повітропроникність, м'якість та міцність трикотаж використовується для виробництва не тільки верхнього одягу, а також для панчішно-шкарпеткових виробів і нижньої білизни.

Одяг із трикотажу за останні десятиріччя став більш практичним, комфортним та елегантним. Однак, перш, ніж трикотаж став таким незамінним, як сьогодні, він пройшов досить тривалий шлях розвитку [1].

Припускають, що в'язання існувало ще у XII столітті до н.е. В розкопках на території Єгипту, здійснених на початку XX століття, знайдено дитячу шкарпетку, що датується III ст. до н.е. Проте, широку популярність в Європі трикотажні вироби набули тільки приблизно з XV ст., коли в'язані панчохи розпочинають витісняти панчохи з тканини. З того періоду поступово формується асортимент трикотажних виробів, а в моді з'являються нові види трикотажного одягу [2].

На даний момент в науково-періодичній літературі мало уваги приділяється розгляду загальної структури розвитку асортименту трикотажних матеріалів. Тому дослідження сучасного асортименту виробництва трикотажу в Україні є актуальним, представляє науковий інтерес, сприяє підвищенню якості вітчизняних товарів та розвитку текстильної промисловості.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом дослідження є сучасний асортимент трикотажних матеріалів вітчизняного виробництва. Методика дослідження полягає у літературному аналізі науково-технічної інформації щодо вітчизняного виробництва трикотажних матеріалів.

Постановка завдання

Мета роботи – розглянути основний асортимент вітчизняних трикотажних матеріалів та визначити перспективи розвитку виробництва трикотажу в Україні.

Виклад основного матеріалу

Асортимент трикотажних полотен, що виробляються промисловістю, надзвичайно великий як за видом переплетень, оздоблень, волокнистим складом, фізико-механічними властивостями, так і за сферою застосування. Трикотажна промисловість виготовляє полотна, які різноманітні за масою, починаючи від найлегших (вага 1 м² від 30 до 35 г), що використовуються для оздоблення вишуканої білизни, і закінчуючи штучним трикотажним хутром, що застосовується для пошиття жіночих, дитячих хутряних пальто і

головних уборів, вага 1 м² якого досягає до 840 г.

Виготовлення трикотажних полотен і трикотажних виробів є значно дешевшим процесом, ніж виготовлення тканин і виробів з них, що пояснюється високою продуктивністю сучасного трикотажного обладнання і удосконаленими технологіями пошиття трикотажних виробів. В трикотажному виробництві надзвичайно ефективно використовують штучні і синтетичні волокна в чистому та в змішаному вигляді. Вироби з цих волокон у багатьох випадках за якістю та експлуатаційними характеристиками можуть перевершувати вироби з натуральних волокон.

Якість трикотажного виробу залежить, головним чином, від структури полотна та властивостей сировини. Чим вища якість, тим м'якше полотно, поверхня більш гладка і приємна на дотик, менше ворсинок і вузлів. Вибір оптимального складу суміші є водночас технологічним та економічним завданням. Суміш волокон має бути відносно невеликої собівартості й гарантувати високий рівень якості.

Якість одержаної пряжі залежить від сировини, що входить до складу суміші, а також умов перебігу технологічного процесу, на який впливають характеристики устаткування з відповідними режимами роботи, системи і плани змішування у прядінні, температурно-вологісний режим та кваліфікація персоналу [3].

В Україні сьогодні налічується більше шістдесят трикотажних фабрик, які функціонують практично в кожному регіоні країни [4].

Виробництво трикотажу в Україні представлено такими видами одягу, як нижній трикотаж (футболки, теніски, спідня білизна, близько 24 млн шт.), верхній трикотаж (свetry, кофти, пуловери, близько 10 млн шт.). Також виробництво було направлено на випуск панчішно-шкарпеткових виробів, спортивного одягу та одягу для дітей. Потужними трикотажними фабриками в Україні є [5]: "Спорттрикотаж" (м. Харків) – спеціалізується на виробництві спортивного трикотажу для молоді; ООО "Эсперон" (м. Харків) профіль фабрики – виробництво в'язаного трикотажу; ЗАО «Акация» (м. Одеса) – спеціалізується на виробництві трикотажу різного асортименту; СП «Ташко» – спільне україно-єгипетське підприємство (м. Одеса), компанія широко відома в Україні та за її межами чоловічим та жіночим верхнім трикотажем, спортивними костюмами та одягом для фітнесу; «Тико-Маркетинг» (м. Комсомольськ), виробляє жіночий та чоловічий білизняний трикотаж; фабрика трикотажу «Аверс Плюс» (м. Мукачеве); Київська трикотажна фабрика «Киянка» виготовляє жіночий та чоловічий трикотаж різного асортименту.

Згідно статистичних даних [4] у 2014 році загальний обсяг виробництва деяких видів вітчизняного трикотажу зменшився у порівнянні з попередніми роками. Причиною такої ситуації може бути недостатня купівельна спроможність населення, висока собівартість товарів вітчизняного виробництва, недостатня інноваційна та інвестиційна діяльність. Загальні обсяги виробництва основних видів вітчизняних трикотажних виробів представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Обсяги виробництва основних видів вітчизняних текстильних виробів

№ п/п	Найменування виробу	Кількість виробленої продукції				
		2010	2011	2012	2013	2014
1	Полотна трикотажні машинного чи ручного в'язання, тис. т	3,9	4,8	4,5	5,4	5,6
2	Трико́таж спідній, млн шт.	22,5	29,0	28,2	29,0	20,1
3	Колготки, панчохи, шкарпетки та вироби панчішно-шкарпеткові інші, трикотажні машинного та ручного в'язання, млн пар	76,8	90,0	83,0	76,0	74,2
4	Свetry, пуловери, кардигани, жилети та вироби подібні, трикотажні та в'язані, млн шт.	1,7	1,6	1,5	1,2	1,0

Проте дійсність показує, що конкуренція серед текстильних компаній посилюється. Багато підприємств з метою збільшення своєї частки на ринку почали активне розширення асортименту. Загальне падіння в легкій промисловості за 2014 рік становило 1,4%, що значно менше, ніж у 2012 році – 6,6 % відповідно [6].

Україна експортує готові трикотажні вироби до таких країн як Данія, Німеччина, Польща, Росія, Литва, Угорщина, Італія та Франція. Найбільша частка імпортованої швейної продукції припадає на Китай, Туреччину, Польщу, Білорусь та Італію.

На даний час трикотажні полотна використовують при виробництві практично всіх видів виробів: пальто, курток, костюмів, суконь, сорочок, білизни. Широке застосування трикотажних полотен обумовлено їхніми властивостями: м'якістю, теплозахисними і гігієнічними характеристиками, високою стійкістю до стирання. Перевагами трикотажу є також високий розтяг і пружність. Вироби з трикотажу не ускладнюють рухів людини, майже не зминаються, швидко відновлюють форму після розтягування, володіють здатністю покривати тіло людини без утворення зморшок і складок.

Трико́таж виробляють з різноманітних натуральних і хімічних ниток та пряжі. Застосовують пряжу з натуральних волокон: бавовняну, лляну, вовняну, а також пряжу з різноманітних сумішей натуральних

волокон з штучними та синтетичними, наприклад бавовняно-поліефірну, бавовняно-віскозну та ін. Зустрічаються і трикомпонентні комбінації: вовняно-поліефірно-віскозна і вовняно-нітроно-капронова пряжа.

Пряжа може бути одинарною, крученою, ровничного типу, фасонної крутки, високооб'ємною. Для трикотажного полотна не використовують лише пряжу високої крутки – муслинову або крепову. Пряжу різної структури, різного волокнистого складу поєднують з штучними і синтетичними комплексними нитками. Комплексні нитки можуть з'єднуватися з металізованою монониткою. Широко використовуються поліефірні та поліамідні текстуровані нитки, що володіють високим розтягом, об'ємністю і пухнастою. Так, відомі нитки еластан і лайкра є об'ємними високорозтяжними нитками, які здатні розтягуватися від 200 до 300% від початкової довжини, а після зняття навантаження відновлювати свої розміри. Для отримання еластичних полотен застосовують поліуретанові еластomers в поєднанні з нитками всіх видів, наприклад спандексом.

На сьогоднішній день багато підприємств легкої промисловості в трикотажних полотнах використовують козячий пух і вовну ангорських кіз. Товщина пряжі і ниток, які застосовуються для трикотажних полотен, коливається від дуже великої до незначної залежно від призначення матеріалу. А поверхнева щільність трикотажних полотен коливається в межах від 35 до 660 г/м².

Всі трикотажні полотна, що виробляються трикотажною промисловістю, стандартизовані. Кожне полотно регламентовано Державним стандартом або Технічними умовами, що містять заправні дані про полотна та їх якісні показники. У заправні дані полотна входять відомості про його волокнистий склад, товщину пряжі або ниток, з яких виготовляється дане полотно, кількість кінців в заправці (при роботі трощеною пряжею), клас в'язальної машини та її вигляд. До якісних показників трикотажних полотен відносяться довжина петлі, щільність по горизонталі і вертикалі, маса 1 м² полотна, показники міцності і подовження при розтягуванні до розриву в напрямку петельних рядів і петельних стовпчиків (або міцність і стріла прогину при продавлюванні). Крім того, вказується вид опорядження полотна і рекомендації з його використання.

Трикотажні полотна поділяються на артикули, що мають цифрове позначення. Кожному артикулу відповідають певні заправні дані і якісні показники полотна [7].

На даний час найбільш поширеними за своїм волокнистим складом є такі трикотажні полотна:

- бавовна 100%;
- бавовна від 95 до 92% + лайкра від 5 до 8%;
- бавовна від 80 до 70% + поліестер від 20 до 30%;
- віскоза 100%;
- віскоза від 95 до 90% + лайкра від 5 до 10%;
- поліестер 100%;
- поліестер від 95 до 90 % + лайкра від 5 до 10 %;
- акрил (поліакрилонітрил ПАН) 100%;
- акрил від 95 до 92% + лайкра від 5 до 8%;
- акрил 85% + метанитка 10% + лайкра 5%.

Найбільшим виробником вітчизняного трикотажу є товариство з обмеженою відповідальністю «Т-Стиль», м. Рівне, яке було засновано у 2008 році на базі Рівненського Льонокомбінату. Підприємство виготовляє та реалізовує тканину різного типу: кулірка, піке, плюшева тканина, інтерлок, резинка (рубчик та рібана), двонитка, тринитка; використовується бавовняна, віскозна, акрилова, поліефірна пряжі та їх суміші. Зразки асортименту трикотажних полотен представлені на рисунку 1.



Рис. 1. Зразки асортименту вітчизняних трикотажних полотен: а – інтерлок; б – віскоза; в – резинка; г – кулірка; д – тринитка; е – двонитка; ж – лакоста

На сьогоднішній день на підприємстві реорганізовано та відремонтовано частину цехів, в яких здійснюється виробництво тканини на найсучаснішому в світі обладнанні. Потужність виробництва – 9 тонн полотна за добу.

Головним партнером ТОВ «Т-Стиль» є Асоціація приватних підприємств «Едельвейс» у м. Хмельницькому. Швейна фабрика «Едельвейс» випускає широкий асортимент продукції: майки, футболки, джемпера, сукні та спідниці, жіночий та чоловічий спортивний одяг, одяг для дітей [8, 9].

Основні види трикотажних полотен, які виготовляються вітчизняними підприємствами текстильної промисловості та їх властивості представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Основні види вітчизняних трикотажних полотен та їх характеристика

Назва трикотажного полотна	Волокнистий склад полотна	Поверхнева густина полотна, г/м ²
Кулірна гладь	100% бавовна	від 136 до 180
	95% бавовна+5% лайкра	від 140 до 170
	96% меланж+4% лайкра	170
Інтерлок	100% бавовна	від 180 до 200
Футер	100% бавовна	від 170 до 290
	80% бавовна+20 % поліефір	(двохнитковий) 320 (тринитковий)
Тринитка	45% бавовна+12% поліефір 75 dnr + 43% бавовна №10	від 300 до 400
	45% меланж + 12% поліефір 75 dnr + 43% бавовна №10	
	45% антрацит + 12% поліефір 75 dnr + 43% бавовна №10	
Двонитка	82,6% меланж + 13% поліефір 75 dnr + 4,4% лайкра	від 200 до 280
	82,6% антрацит + 13% поліефір 75 dnr + 4,4% лайкра	
	95,3% бавовна + 4,7% лайкра	
Стрейч футер	95% бавовна + 5% лайкра	від 180 до 200
Велсофт (махра рвана)	100% поліефір	від 250 до 310
Велюр	100% бавовна з додаванням поліефіру	від 220 до 420
Кашкорсе (рубчик)	100% бавовна + до 5 % лайкра	від 210 до 300
Фліс	100% поліефір	від 180 до 330
Резинка	98,8% меланж + 1,2% лайкра	280
Махровий трикотаж	100% бавовна	від 200 до 280
	80% бавовна + 20% поліефір	
Віскоза	40 віскоза 96% лайкра 4%	170

Від виду трикотажу залежить галузь його застосування. З щільних важких тканин, які мало розтягуються виготовляють верхній одяг, головні убори. Гладкі тонкі бавовняні полотна м'які, еластичні, гігроскопічні, гіпоалергенні, паропроникні, використовуються для виробництва нижньої білизни, спортивного, дитячого одягу. Трикотажні матеріали з вовняних волокон мають високу формостійкість, володіють хорошими теплозахисними властивостями, але швидко зношуються. Трикотаж із синтетичних волокон не зминається, формостійкий, витримує машинне прання, не вбирає вологу, тому й висихає швидше, однак не пропускає повітря і здатний накопичувати електростатичні заряди. Гладкі хвилясті тканини, які щільно облягають фігуру, перетворюються на вишукані вечірні туалети і повсякденні ділові костюми, улюблені в сучасному гардеробі.

Інноваційні способи обробки, нанотехнології в технологічному процесі розширюють галузі застосування трикотажу [10, 11]. Він широко використовується для виготовлення захисних матеріалів в промисловості, елементах спецодягу, медицині (компресійний трикотаж) та ін. Основою для виготовлення компресійної білизни є такі синтетичні матеріали як еластин та поліамідне волокно. Спеціальна пориста в'язка трикотажу, а також використання для процесу виготовлення подібних виробів ниток, що володіють антигрибковими та антибактеріальними властивостями, дозволяє підтримувати в необхідні температурний і

водний баланс шкіри людини.

Висновки

Вітчизняне виробництво трикотажу орієнтоване на задоволення потреб споживача і спеціалізується на випуску якісної продукції, яка користується найбільшим попиту відповідно до сегментації ринку за соціально-економічними, географічними та демографічними показниками.

Сучасний ринок асортименту трикотажних матеріалів та технології трикотажного виробництва в Україні розвивається за наступними тенденціями:

- різноманітністю асортименту трикотажу за волокнистим складом та видом переплетень;
- впровадженням нових технологій фарбування та опорядження полотен;
- створенням автоматизованих поточкових ліній для виробництва полотна, панчішно-шкарпеткових виробів;
- інтенсифікацією процесів виробництва трикотажу шляхом заміни устаткування на більш продуктивне;
- впровадженням безперервного способу обробки трикотажних полотен.

Література

1. Кудрявцева Н.В. Теорія і практика конструювання трикотажних виробів верхнього асортименту : навч. посібник / Н.В. Кудрявцева, Л.В. Краснюк. – Хмельницький : ХНУ, 2014. – 183 с.
2. Корольова М.В. 3 історії моди трикотажних виробів / М.В. Корольова, Т.В. Ніколаєва // Легка промисловість. – К., 2006. – № 4. – С. 38–39.
3. Защепкіна Н.М. Прогнозування властивостей пряжі різного сировинного складу для виготовлення трикотажних виробів / Н.М. Защепкіна // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2006. – № 6. – С. 240–242.
4. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
5. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. Державна підтримка українського експорту [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ukrexport.gov.ua/ukr/prom/ukr/9.html>
6. Фаріон Н.О. Сучасний стан легкої промисловості України: проблеми та шляхи їх вирішення [Електронний ресурс] / Н.О. Фаріон // Ефективна економіка : електронне наукове фахове видання Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. – 2015. – № 10. – Режим доступу : <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4423>
7. Асортимент трикотажних полотен [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.otkani.ru/sort/tricotageassortment/1.html>
8. ТОВ «Т-Стиль» Львонокомбінат. Каталог продукції [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://rv-tstyle.com.ua/katalog-produkc>
9. Торгова марка Goldi. Каталог продукції [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://goldi.biz.ua/>.
10. Ресурсоощадні технології виробництва текстилю, одягу та взуття : монографія : [в 2 т.] / [Щербань В. Ю. та ін.] / Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. – К. : КНУТД, 2016.
11. Paraska O. Influence of the treatment by softeners on quality of knitted materials / O. Paraska, S. Karvan, O. Chervonyuk // Study of problems in modern science: new technologies in engineering, advanced management, efficiency of social institutions : monograph / edited by Shalapko Yu., Wyszowska Z., Musial J., Paraska O. – Poland, 2015. – P. 451–459. – ISBN 978-617-7094-42-4.

Рецензія/Peer review : 3.8.2016 р. Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Карван С.А.

ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ БЕЗПЕЧНОСТІ НАНОТЕКСТИЛЮ І ОДЯГУ

На основі аналізу наукових публікацій авторами висвітлено зарубіжний досвід розвитку нанонауки, нанотехнологій у різних галузях науки, техніки та виробництва нанопродукції. Обґрунтована необхідність і доцільність ґрунтовної державної підтримки нанонауки і нанотехнологій в Україні. Проведено критичний аналіз потенційних ризиків для здоров'я людини та забруднення довкілля від широкого використання нанотехнологій і наноматеріалів в різних галузях виробництва. Наведено перелік різноманітних захворювань людини, які можуть бути обумовлені потраплянням наночастинок в організм. Висвітлені деякі технологічні і товарознавчі аспекти формування та оцінювання безпечності нанотекстилю та одягу у сфері їх виробництва та реалізації.

Ключові слова: наноматеріали, наночастинки, нанотехнології, нанотекстиль, нановолокна, наноемульсії, нанодисперсії, безпечність нанотекстилю.

I.S. GALYK, B.D. SEMAK
Lviv University of Trade and Economics

PROBLEMS OF FORMING AND EVALUATION OF NANOTEXTILES AND CLOTHING SAFETY

On the basis of analysis of scientific publications authors described foreign experience of nanoscience development, nanotechnologies in the different areas of science, technique and production of nanoproducts. The necessity and state support of nanoscience and nanotechnologies in Ukraine is shown. The potential risks for health and environment pollution because of nanotechnologies and nanomaterials deployment in different industries of production have been analyzed. The list of various diseases, that are caused by nanoparticles is brought. Some technological and commodity expert aspects of forming and evaluation of nanotextiles and clothing safety are performed.

Keywords: nanomaterials, nanoparticles, nanotechnologies, nanotextiles, nanofibres, nanoemulsions, nanodispersions, nanotextile safety.

Вступ

Бурхливий розвиток нанотехнологій і наноматеріалів в останні роки в економічно розвинутих країнах світу у різних галузях науки, техніки, медицини промислового та сільськогосподарського виробництва обумовлює нагальну потребу всестороннього вивчення негативного впливу цих нанотехнологій, наноматеріалів і наночастинок на людину, тварини та рослини.

Для реалізації цього завдання у багатьох країнах світу створені державні та приватні нові спеціалізовані лабораторії, центри, інститути, комітети та інші структури, які детально займаються дослідженням негативного впливу наночастинок, нанотехнологій і наноматеріалів різного призначення і будови на організм людини та довкілля (1).

В даній роботі ми обмежимося тільки розглядом одного із аспектів цієї різнопланової проблеми – на розгляді питань формування та оцінювання безпечності нанотекстилю та одягу, узагальнюючи при цьому вітчизняний і зарубіжний досвід її ефективного вирішення.

Постановка проблеми

Як відомо, в Україні, як у багатьох розвинутих країнах світу (особливо США, Німеччини, Японії, Китаї та інших), в останні роки проводяться поглиблені фундаментальні дослідження негативного впливу на організм людини та забруднення довкілля різноманітних нанотехнологій, наноматеріалів і наночастинок. Результати цих досліджень вже узагальнені та опубліковані у багатьох періодичних і монографічних виданнях. Вони постійно обговорюються на періодичних симпозиумах та науково-практичних міжнародних, регіональних та вузівських науково-практичних конференціях.

Про важливість і актуальність піднятих питань і потребу їх безвідкладного вирішення свідчить і той факт, що їх дослідженням займаються в останні роки практично всі академічні інститути України. Так, вивченням проблем негативного впливу на організм людини та довкілля сучасних нанотехнологій і наноматеріалів займаються ведучі інститути НАН України та Академії медичних наук України [1]. При цьому, в цих інститутах поглиблено вивчається не тільки можливий негативний вплив наночастинок різного складу, різноманітних нанотехнологій і наноматеріалів на здоров'я людини та забруднення довкілля, але й можливість і доцільність використання окремих нанотехнологій для діагностики та лікування різноманітних захворювань, а також створення різних типів лікувальних наноматеріалів для лікування від різних хвороб.

Про це переконливо свідчать наступні приклади використання нанотехнологій і медичних нанопрепаратів [1]. Наприклад, у науково-технічному комплексі "Інститут монокристалів НАН України" розроблено ряд наноматеріалів для практичного застосування у медицині та фармації. В інституті хімії поверхні НАН України спільно із науково-медичними закладами вперше розроблено і впроваджено у медичну практику нанопрепарат сорбційно-детоксикаційної дії на основі нанокремнезему. Перелік цих прикладів можна продовжити.

Стосовно оцінки впливу нанотехнологій, наноматеріалів і наночастинок на безпечність текстилю і одягу, то ця інформація в літературі носить ще фрагментарний і дискусійний характер і вимагає більш

кваліфікованої інтерпретації [2, 3]. При цьому, у світовій практиці склалася ситуація, коли розроблення нових нанотехнологій виробництва нановолокон, нанотекстилю, наноемульсій, нанопрепаратів текстильного призначення суттєво обганяє дослідження їх негативного впливу на організм людини та забруднення довкілля [4].

Необхідність оцінювання рівня безпечності нанотекстилю та одягу, як і інших груп товарів вітчизняної легкої промисловості, обумовлена низкою причин. Назвемо основні з них:

- потребою обґрунтування сфер застосування конкретних видів нанотекстилю (вироби медичного та спеціального призначення, дитячий асортимент, матеріали для індивідуального військового спорядження та інші);
- використання рівня безпечності нанотекстилю і одягу для обґрунтування та підвищення їх конкурентоспроможності та елітності на ринках;
- потребою обґрунтування рівня цін на нанотекстиль і одяг залежно від рівня їх безпечності та негативного впливу на організм людини та забруднення довкілля;
- необхідністю врахування рівня безпечності нанотекстилю і одягу при їх екологічній стандартизації, сертифікації та експертизі якості;
- можливістю використання рівня безпечності нанотекстилю і одягу як ключову характеристику для оцінювання новизни товарів на вітчизняному ринку.

Тому цілком зрозуміло, що нанотекстиль і одяг, як і інша нанопродукція вітчизняної легкої промисловості, повинні поступати на ринок тільки після оцінки рівня їх безпечності. При цьому, залежно від виду безпечності (хімічної, біологічної, термічної, екологічної) та конкретного цільового призначення для оцінювання рівня безпечності нанотекстилю і одягу можуть бути використані різноманітні методи (токсикологічні, хімічні, біологічні, екологічні та інші). Тому назріла потреба відкрити спеціалізовані лабораторії при науково-дослідних установах і вузах сфери текстильної і легкої промисловості та торгівлі для оцінювання рівня безпечності нанотекстилю та іншої нанопродукції легкої промисловості України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як свідчить аналіз літературних джерел, нині у світовій практиці вже чітко сформувались основні напрямки розвитку нанонауки, наномедицини, нанотехнологій промислового та сільськогосподарського виробництва. І всі вони нерозривно пов'язані із пошуком ефективних шляхів захисту людини та довкілля від негативного впливу наночастинок, наноматеріалів і нанотехнологій. В літературі розглядаються різноманітні (технічні, методичні, економічні, соціальні та філософські) аспекти розвитку нанонауки, нанотехнологій та наномедицини, пов'язані із вивченням і мінімізацією негативного впливу нанотехнологій і нанопродукції на здоров'я людини та забруднення зовнішнього середовища [1, 4–9].

Зупинимось на більш детальному аналізі цих робіт. Так, в роботі [1] наведена інформація про можливість науково-дослідних інститутів національної і медичної академії наук і окремих вузів України розробляти сучасні нанотехнології і наноматеріали і використовувати їх у різних галузях науки, техніки, медицини та виробництва. При цьому, особлива увага приділена дослідженню негативного впливу наночастинок, наноматеріалів і нанотехнологій на здоров'я людини та забруднення довкілля та обґрунтування доцільності використання нанотехнологій і медичних нанопрепаратів для діагностики та лікування різноманітних захворювань людини.

Автором роботи [5] розглянуто філософські, історичні, соціальні та технічні підходи використання нанотехнологій у науці, техніці, медицині та виробництві різних країн. Виявлені та описані сфери найбільш ефективного використання нанотехнологій в Україні. При цьому основна увага приділена обґрунтуванню доцільності більш широкого використання нанотехнологій і нанопрепаратів для діагностики найбільш соціально-значимих захворювань та їх лікування (особливо серцево-судинних, онкологічних, гастроентерологічних, неврологічних та інших). На думку автора, цей напрямок використання нанотехнологій і медичних нанопрепаратів слід вважати пріоритетним.

Автором роботи [6] на прикладі Німеччини узагальнено зарубіжний досвід розвитку нанонауки та нанотехнологій у різних галузях науки, техніки та виробництва нанопродукції. Показана роль державної підтримки у розвитку нанотехнологій та проведенні досліджень властивостей нанопродукції різного цільового призначення. Значна увага приділена розгляду етичних, правових і соціальних аспектів розвитку нанотехнологій, а також гарантування безпечності їх впливу на організм людини та довкілля. Підкреслюється, що перспективним виявилось використання нанотехнологій і медичних нанопрепаратів для діагностики та лікування різноманітних хвороб. Встановлено найбільш затребувані бізнесом сектори нанонауки. Запропоновано авторське бачення ключових орієнтирів державної підтримки розвитку нанонауки та нанотехнологій в Україні. Особливо це стосується фундаментальних досліджень щодо впровадження сучасних нанотехнологій у різні галузі науки, техніки, медицини та виробництва, їх комерціалізації та забезпечення безпечності для людини та довкілля.

Автором роботи [7] розглянуто сучасні тенденції розвитку світового ринку нанопродукції, зроблено аналіз сегментації структури його асортименту, виявлено країни-лідери цього ринку. Дана оцінка конкурентного становища України на даному ринку. Зроблено аналіз заходів щодо формування та розвитку вітчизняного ринку нанопродукції різного цільового призначення. Обґрунтована доцільність державної підтримки розвитку даного ринку в Україні.

В роботі [8] наведена оглядова інформація щодо оцінки потенційних ризиків наночастинок срібла і

нанотехнологій виробництва наноматеріалів на стан здоров'я людини. Особливу увагу приділено обґрунтуванню вибору критеріїв і методів оцінки шкідливого впливу цих наночастинок і наноматеріалів на їх основі на організм людини. Обґрунтована доцільність проведення всесторонніх токсикологічних досліджень наноматеріалів перед їх реалізацією на ринку.

Авторами роботи [9] зроблено критичний аналіз потенційних ризиків від використання нанотехнологій і наноматеріалів при їх застосуванні у медицині. За результатами експериментальних та епідеміологічних досліджень доведено високу токсичність та канцерогенність деяких видів наночастинок на живі організми та довкілля. Підкреслюється, що унікальні властивості наноматеріалів, які обумовлюють перспективність їх використання в науці, промисловості, медицині та побуті, потенційно являють собою джерела небезпеки для здоров'я людини та забруднення довкілля. Відзначається, що прогрес в області нанотехнологій, включаючи наномедицину, гарантує значні переваги для ранньої діагностики та лікування різних захворювань, включаючи й онкологічні.

В роботі [10] підкреслюється, що нині дослідження негативного впливу наночастинок на організм людини вважається одним із найбільш пріоритетних напрямків розвитку сучасної науки. Сформульовані вимоги до безпечності наночастинок і наноматеріалів та обґрунтовані напрямки досліджень їх впливу на організм людини та довкілля. При цьому особлива увага приділена дослідженню біологічної дії наночастинок різної будови на організм людини.

Авторами роботи [11] вивчені та узагальнені ймовірні ризики для здоров'я людини від використання нанокосметики за результатами аналізу нанокосметичної продукції на європейських і світових ринках. Відзначаються недоліки рекламних проспектів компаній – виробників нанокосметичної продукції, в яких практично відсутня необхідна інформація про безпечність цієї продукції. Відзначається, що нанокосметика на ринку України реалізується ще обмежено. Відсутня достовірна інформація і про безпечність нанокосметики на вітчизняному ринку, що негативно впливає на обсяги її реалізації.

Авторами роботи [12] досліджено вплив нанотехнологій і наноматеріалів на стан здоров'я людини. Описані шляхи надходження наночастинок в організм людини та наслідки їх негативної дії. Розроблена та рекомендована система забезпечення безпеки наноіндустрії. Наведено результати оцінки токсичності наночастинок срібла, міді, оксиду титану, оксиду цинку, золота, алюмінію, нікелю та вуглецю, а також їх розмірів та шляхів попадання в організм людини. Наведено інформацію про вплив названих наночастинок на різні органи людини. Встановлено, що на рівень токсичності наночастинок впливають технологічні домішки, які присутні у відповідних технологічних процесах. Дається перелік різноманітних захворювань людини, які можуть бути обумовлені попаданням наночастинок в організм.

Авторами роботи [13] вивчено негативний вплив різних за будовою і складом наночастинок на людину та інші живі організми. Відзначені такі основні причини цього негативного впливу: наночастинки завдяки своїм розмірам та будові володіють значно вищою реакційною та каталітичною здатністю. Висока питома поверхність наночастинок суттєво активізує їх каталітичну дію, збільшує адсорбційну ємність та реакційну здатність. Завдяки своїм невеликим розмірам наночастинки не виводяться із живих організмів, а здатні накопчатись в них і викликати певні токсичні дії. Крім названих чинників, на думку авторів даної роботи, при розробці підходів і критеріїв оцінки безпечності наночастинок обов'язково слід враховувати особливості їх фізико-хімічних властивостей, які суттєво відрізняються від аналогів звичайних розмірів. При цьому визначаються: хімічний склад наночастинок, їх фазовий стан, розподіл наночастинок за розмірами та формою.

Авторами роботи [14] узагальнені дані про використання нанотехнологій в різних галузях – науці, медицині, виробництві та інших галузях. Підкреслюється, що стрімкий розвиток нанотехнологій обумовив потребу нових напрямків досліджень в галузі наномедицини. Так, з допомогою нанотехнологій було виявлено нові дані стосовно токсичної дії деяких видів наночастинок на організм людини та інших живих організмів, розкрито механізм токсичного впливу наночастинок на ці організми. Обґрунтована доцільність створення нової методології контролю за поведінкою наночастинок як в довкіллі, так і в живих організмах, акцентується основна увага на їх безпечність для цих організмів.

Авторами роботи [15] наведена узагальнена інформація про негативний вплив наночастинок і наноматеріалів на організм людини та пошуку ефективних шляхів мінімізації цього негативного впливу. Підкреслюється, що різке зростання негативного впливу наночастинок на людину в останні 20 років виявилось результатом розроблення в цей час майже 2000 видів нових різноманітних наноматеріалів. За результатами дослідження токсичних властивостей різноманітних наноматеріалів наведені узагальнені дані про їх токсичний і патофізіологічний вплив на організм людини. Відзначається, що виявлені за останні роки токсичні та патофізіологічні ефекти окремих наночастинок свідчать про те, що виживання людства у XXI столітті в значній мірі буде залежати від безпечності нанотехнологій і наноматеріалів різного цільового призначення.

В роботі [16] узагальнено наукові розробки НАН України, які складають підґрунтя методичного забезпечення оцінки потенційних ризиків застосування наноматеріалів та створення єдиної системи прогностно-аналітичного визначення їх біологічної безпеки та біосумісності. В основі системи тестування біобезпечності наноматеріалів лежать найбільш чутливі до токсичної дії характеристики живого організму – системні біомаркери. Підкреслюється, що апробована система методів тестування може скласти основу нормативно-методичної бази оцінки біобезпечності використання наноматеріалів у різних галузях

діяльності людини. Тому за відсутності стандартизованих індикаторів токсичності наночастинок металів запропонована система вважається придатною для оцінки біобезпечності наноматеріалів різного цільового призначення.

Мета роботи. На основі аналізу та узагальнення літературних джерел на прикладі нанотекстилю і одягу виявити залежність між видом і будовою наночастинок і наноматеріалів і їх негативним впливом на організм людини та забруднення довкілля.

Викладення основного матеріалу та його авторська трактовка. В даній роботі ми обмежимося розглядом одного із аспектів цієї різнопланової проблеми, а саме – виявленням залежності рівня безпечності нанотекстилю і одягу з нього від негативного впливу на організм людини та забруднення довкілля різними за розмірами та хімічною будовою наночастинок, текстильної наносировини (волокон, ниток, апретів, наноемульсій, нанодисперсій, нанопрепаратів різного цільового призначення) та наноматеріалів різної будови та призначення. Необхідність вирішення цього завдання обумовлена низкою причин. Назвемо основні з них [2–4]:

- обмеженість інформації про негативний вплив наночастинок, наносировини, нанотехнологій текстильного призначення на конкретні види захворювань людини та забруднення атмосфери на текстильних підприємствах та погіршення умов праці на них;
- відсутність в існуючих вітчизняних нормативних документах (стандартах, технічних умовах та інших) стандартизованих норм і критеріїв їх визначення щодо рівня безпечності нанотекстилю і одягу різного цільового призначення та способів виробництва;
- потреба вивчення, узагальнення та використання позитивного зарубіжного досвіду (особливо США, Японії та Німеччини) застосування сучасних нанотехнологій для виробництва нанотекстилю та одягу та оцінювання рівня їх безпечності;
- поглиблення комплексних (медичних, екологічних, матеріалознавчих, товарознавчих, хімічних, біологічних та інших) досліджень безпечності нанотекстилю і одягу;
- потреба формування, обґрунтування та стандартизації вимог до безпечності нанотекстилю різного цільового призначення, будови, оброблення та способів виробництва (тканого, нетканого, трикотажного);
- необґрунтована залежність цін на основні види нанотекстилю та одягу конкретного цільового призначення від величини та унікальності їх специфічних властивостей, з одного боку, та рівня безпечності – з іншого боку;
- відсутність обґрунтованості механізмів формування безпечності нанотекстилю і одягу та взаємодії на організм людини при контакті з нанотекстилем.

Цілком зрозуміло, що у вирішенні піднятих питань повинні брати участь фахівці різного профілю – технологи, гігієністи, хіміки, біологи, фізики, дизайнери, матеріалознавці, товарознавці, маркетологи та ін. в рамках окремих цільових програм. В даній роботі ми обмежимося тільки постановкою і коротким розглядом деяких технологічних і товарознавчих аспектів формування та оцінювання безпечності нанотекстилю та одягу у сфері їх виробництва та реалізації.

Передусім потрібно дати аналіз науковій інформації про безпечність текстильної наносировини (нановолокна, пряжа, нитки, барвники, емульсії, дисперсії, апрети та інші нанопрепарати текстильного призначення), обґрунтувати вибір основних параметрів і безпечність для людини нанотехнологій виробництва нанотекстилю і одягу різного цільового призначення та способів виробництва, сформулювати, обґрунтувати та стандартизувати вимоги до рівня безпечності різних за призначенням груп нанотекстилю, вибрати та обґрунтувати об'єктивні критерії, методи та показники оцінки безпечності нанотекстилю та одягу різного цільового призначення.

Для успішного вирішення цих завдань виникає потреба у вирішенні наступних питань:

- в'яснення ролі нанотекстилю та одягу у формуванні їх екологічної безпечності для людини та довкілля;
- розкриття механізму взаємодії наночастинок, які містяться у нанотекстилі і одязі із організмом людини та забрудненням довкілля;
- обґрунтування вибору найбільш безпечних видів наносировини, нанотехнологій і текстильних наноматеріалів для виробництва дитячого одягу і білизни, медичного одягу, одягу спеціального призначення.

Для вирішення цих завдань, на нашу думку, може бути використано алгоритм (табл. 1), запропонований в роботі [12], який встановлює взаємозв'язок між видом, хімічною будовою і розмірами наночастинок шляхами їх потрапляння в організм людини та хворобами, які вони обумовлюють.

Слід відмітити, що в табл. 1 наведені тільки окремі приклади дії наночастинок на організм людини і безумовно вони не можуть претендувати на різноманітність НЧ, які можуть міститись у різноманітних видах наносировини та наноматеріалів текстильного призначення [4].

Разом з тим, наведена в табл. 1 інформація про негативний вплив різних за хімічною будовою і розмірами наночастинок на різні органи людини дозволяє зробити однозначний висновок про необхідність проектування асортименту нанотекстилю та одягу із заданим рівнем їх екологічної безпечності (особливо це стосується одягу медичного спеціального призначення та дитячого асортименту). На жаль, на практиці буває навпаки. Спочатку виготовляється той чи інший вид нанотекстилю, пошивається з нього відповідний

одяг, а вже потім оцінюється рівень його безпечності.

Таблиця 1

Вплив наночастинок (НЧ) на хвороби людини [12]

Назва НЧ, їх розміри та шляхи попадання в організм	Характер токсичної дії на організм людини НЧ
НЧ срібла (10,8-84,9 нм), інгаляційне постушення	НЧ срібла осідають в печінці, проникають в нюхову цибулину головного мозку, зберігають токсичні властивості протягом тривалого часу
НЧ міді, шляхом перорального введення	НЧ міді викликають виражені симптоми ураження ШКТ, зниження апетиту, діарею, блювання
НЧ TiO_2 (60 і 80 нм), інгаляційне та пероральне введення	НЧ TiO_2 володіють сильним окисним ефектом, а також канцерогенною дією. Накопичуються у нирках, селезінці, печінці та легенях
НЧ SiO_2 (розміром 15 і 46 нм)	Характеризується цитотоксичним ефектом
НЧ алюмінію (10 нм)	Впливає на РНК і ДНК
НЧ вуглецю	Найбільш вивченими є наноалмази. Вони не володіють канцерогенними властивостями, але високотоксичні відносно патогенних вірусів і мікроорганізмів. Вони є активними сорбентами та іммобілізаторами біологічно активних речовин

Не менш важливе значення для оцінки безпечності нанотекстилю і одягу має дослідження можливості поєднання наночастинок в нанотекстилі з іншими шкідливими для людини обробними препаратами (токсичними барвниками, апретами, текстильно допоміжними речовинами). Це може мати непередбачені шкідливі для людини наслідки. Особливо небажаним і малодослідженим є поєднання в нанотекстильній галузі наночастинок із деякими токсичними марками синтетичних барвників і формальдегідних обробних препаратів.

Окрім того, слід мати на увазі і те, що наявна в літературі інформація про негативний вплив наночастинок нанотекстилю на здоров'я людини стосується даних, отриманих в основному *in vitro* [12].

Цілком зрозуміло, що на формування токсичності наявних в нанотекстилі наночастинок різного хімічного складу, будови та рівня їх токсичності можуть впливати різноманітні технологічні процеси обробного текстильного виробництва (фарбування, заключне та спеціальне оброблення). При цьому наночастинки і супутні з ними шкідливі домішки із нанотекстилю при попаданні в організм людини можуть обумовлювати захворювання легенів, печінки, нирок, центральної нервової системи, шлунково-кишкового тракту та інших органів.

Окрім токсичності наночастинок і поєднаних з ними домішок, певною токсичністю можуть володіти і самі текстильні наноматеріали (нановолокна, нанобарвники, наноемульсії, нанодисперсії та інші), а також виготовлені на їх основі наноматеріали [2–4]. Тому виникає потреба вивчення негативного впливу на організм людини не тільки окремих видів наночастинок, але різноманітних за хімічною будовою наноматеріалів текстильного призначення [2, 3].

Тому у сфері вітчизняного текстильного виробництва, як і в інших галузях легкої промисловості, існує нагальна потреба:

- розроблення методології та ефективних засобів ідентифікації та виявлення негативного впливу нанотекстилю та наночастинок в його складі на організм людини;
- створення ефективних засобів оцінювання негативного впливу на здоров'я людини та довкілля наночастинок, наноматеріалів і виробів текстильного призначення;
- розроблення нормативно-методичного забезпечення і засобів контролю вмісту шкідливих наночастинок в текстильних матеріалах і одязі;
- поглиблення досліджень рівня токсичності та екологічної безпечності текстильних матеріалів і одягу різного цільового призначення та способів виробництва.

Обмежимося тільки загальною характеристикою використання сучасних нанотехнологій у різних сферах текстильного виробництва, акцентуючи основну увагу на мінімізацію їх негативного впливу на людину. В табл. 2 наведені узагальнені дані про сфери застосування нанотехнологій у сучасному текстильному виробництві та асортимент нанотекстилю різного цільового призначення [17].

Аналізуючи дані табл. 2, слід відзначити, що наведена в ній інформація про застосування нанотехнологій у різних сферах текстильного виробництва окреслює тільки напрямки використання цих технологій на певний період часу і не претендує на повноту їх охоплення та висвітлення.

Безперечно, що наведені в табл. 2 нанотехнології, текстильні наноматеріали і наночастинки, на основі яких базуються ці матеріали, будуть мати неоднозначний негативний вплив на різні органи людини та її хвороби. Особливо це стосується різноманітних видів нанотекстилю і виробів одягового та білизняного призначення, які безпосередньо контактують із шкірою людини. Разом з тим, успішне вирішення піднятих питань вимагає продовження та поглиблення комплексних гігієнічних, біологічних, хімічних,

технологічних, матеріалознавчих, товарознавчих, маркетингових досліджень і інших питань цієї різнопланової роботи.

Таблиця 2

Використання нанотехнологій в текстильній промисловості [17]

№ з/п	Назва наноматеріалу	Опис нанотехнологій	Характеристика отриманих властивостей
1	Водовідштовхувальні тканини (дихаючі)	Мікропористе покриття тканин, ламіновані тканини з нановолокнистою матрицею	Не промокає під дощем і "дихає"
2	Гідрофільно ламіновані тканини	Послідовність фізичних процесів "сорбції-дифузії-десорбції"	Не промокає під дощем і "дихає"
3	Термоізоляційні матеріали	Мікро- і нановолокна, або пустотілі волокна з великим об'ємом повітря у волокнах і між волокнами	Підвищуються теплоізоляційні властивості порівняно із звичайними волокнами з поліефіру
4	Захисний нетканий матеріал	Технологія спандбонд, гідралічний, термокріплення, каландрування	Реагує на зміни в організмі людини в оточуючому середовищі і змінює свої властивості
5	Фотолюмінесцентні матеріали	Люмінесцентний пігмент на базі кристалічного сульфід цинку, збуджений випромінюванням, здатний поглинати видиме світло і зберігати цю енергію у формі електронів різного рівня	Ефект свічення
6	Матеріали з фазовим переходом	Капсули, які містять вуглеводні з різною довжиною ланцюгів і з фазовими переходами в межах близьких до температури тіла людини	Поглинає надмірність тепла від тіла людини; терморегулює підодяговий простір
7	Охолоджуючі волокна	Охолоджуючі волокна вводять в структуру тканини	Терморегулює підодяговий простір
8	Реактивний матеріал	Тканину фарбують термо-хромними барвниками, забарвлення яких змінюється з підвищенням температури. Ці барвники відбивають частину утвореної радіаційної енергії	Захищає від полум'я і перегріву
9	Матеріали на основі силіконів	Просочують трьохмірний текстиль м'яким легкоформуємим ділатантним силіконом	Куле- і ударозахисні властивості для пошиття спеціального одягу
10	Екзотермічні матеріали	Використовують нановолокна в структурі пряжі для пасивного регулювання термоізоляції; надання волокнам екзотермічних властивостей	Терморегулює підодяговий простір
11	Волокна на основі ПЕ із включенням частинок вуглецю з кокосового листа	Включення в ПЕ волокна частинок вуглецю, отриманих з листа кокоса	Швидко висихають, контролюють неприємний запах, захищають від УФ променів
12	"Розумні матеріали"	Використання різних за хімічним і агрегативним складом матеріалів, здатних суттєво змінювати фізичні і фізико-механічні властивості під дією зовнішніх впливів	Сенсорні властивості
13	Текстиль електроніка	Текстильні матеріали, які здатні відчувати, аналізувати і розумно за програмою використовувати численні функції по забезпеченню нормальної життєдіяльності ко-ристувача цим одягом в нормальних і екстремальних умовах	Біометричні властивості

Загальні висновки

1. На основі аналізу літературних джерел, узагальнена інформація про негативний вплив наночастинок, нанотехнологій, наноматеріалів, готової нанопродукції на здоров'я людини та забруднення довкілля. При цьому основна увага приділена виявленню та оцінюванню шкідливого впливу на організм людини текстильних наносировини (нановолокна, наноемульсії, нанодисперсії, наноапретів, нанобарвників і інших хімічних допоміжних наноречовин), нанотехнологій її переробки, а також текстильних наноматеріалів і одягу з них.

2. Обґрунтована доцільність поглиблення комплексних хімічних, біологічних, фізичних, матеріалознавчих, товаровознавчих, екологічних, гігієнічних досліджень чинників, які обумовлюють рівень безпечності нанотекстилю і одягу для людини та довкілля. При цьому обґрунтована необхідність використання більш ефективних критеріїв, показників і методів виявлення та оцінювання безпечності для здоров'я людини сучасного асортименту нанотекстилю та одягу, а також технологій їх виробництва.

3. Представляється доцільним і своєчасним створення та затвердження міжгалузевого ДСТУ "Безпека нанотекстилю і одягу, критерії та методи оцінювання", гармонізованого з вимогами відповідних європейських і міжнародних стандартів.

Література

1. Патон Б. Нанонаука і нанотехнології: технічний, медичний та соціальний аспекти / Б. Патон, В. Москаленко, І. Чекман, Б. Мовчан // Вісник НАН України. – 2009. – № 6. – С. 18–26.
2. Галик І.С. Проблеми формування та оцінювання екологічної безпечності текстилю : монографія / І.С. Галик, Б.Д. Семак. – Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2014. – 488 с.
3. Сажин Б.С. Наноматериалы и их влияние на организм человека / Б.С. Сажин, М.В. Чунаев, М.Б. Сажина // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010. – № 2. – С. 118–122.
4. Кричевский Г.Е. Нано-, био-, химические технологии в производстве нового поколения волокон, текстиля и одежды : монография / Г.Е. Кричевский. – М. : Известия, 2011. – 528 с.
5. Гайворонська О.О. Нанотехнологічна ситуація суспільства ХХІ століття / О.О. Гайворонська // Філософія: традиції та інновації. – 2013. – № 2(8). – С. 141–149.
6. Саліхова О.Б. Державна політика у сфері нанонауки та нанотехнологій в Україні з урахуванням орієнтирів ЄС / О.Б. Саліхова // Економіка і прогнозування. – 2014. – № 3. – С. 121–136.
7. Чернецька І.В. Сучасні тенденції розвитку світового ринку нанотехнологій у глобальному середовищі / І.В. Чернецька // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2013. – № 1 (64). – С. 154–158.
8. Бойчук Т.М. До проблеми оцінки токсичності наночастинок срібла / Т.М. Бойчук, Н.Й. Андрійчук, Л.І. Власик // Клінічна та експериментальна патологія. – 2012. – Том XI. – № 4(42). – С. 151–157.
9. Михайленко В.М. Нанотехнології – перспективи застосування та ризики для здоров'я людини / В.М. Михайленко, П.М. Михайленко, Л.О. Єлейко // Онкологія. – 2008. – Т. 10, № 4. – С. 420–426.
10. Демецька О.В. Проблема безпеки при використанні нанотехнологій / О.В. Демецька // Довкілля та здоров'я. – 2010. – № 4. – С. 8–12.
11. Попова Ж.М. Використання нанотехнологій у косметичних засобах – великий потенціал чи потенційний ризик? / Ж.М. Попова, І.С. Чекман // Запорожский медицинский журнал. – 2013. – № 5. – С. 95–98.
12. Завгородній К.А. Проблеми гігієни праці та безпеки у виробництві та використанні наночастинок і нанотехнологій / І.В. Завгородній, Т.М. Дмуховська, М.О. Сидоренко, Н.В. Семенова // Медицина сьогодні і завтра. – 2013. – № 3 (60). – С. 52–56.
13. Занина К.А. Влияние нанотехнологий и наноматериалов на человека и остальной живой мир / К.А. Занина, А.П. Цуркин // Технические науки: традиции и инновации : материалы междунаро. науч. конф. (г. Челябинск, октябрь, 2013). – Челябинск, 2013. – С. 21–24.
14. Клестова З.С. Нанотехнології та біоризики / З.С. Клестова, А.М. Головка // Збірник праць науково-технічного і біологічного інституту біології тварин і Державного науково-дослідного контрольного інституту ветпрепаратів та кормових добавок. – Львів, 2014. – Вип. 15. – № 2–3. – С. 329–339.
15. Проданчук Н.Г. Нанотоксикология: состояние и перспективы исследований / Н.Г. Проданчук, Г.М. Балан // Современные проблемы токсикологии. – 2009. – № 3–4. – С. 4–14.
16. Кундієв Ю.І. Проблеми оцінки потенційних ризиків наноматеріалів та шляхи їх вирішення / Ю.І. Кундієв, З.Р. Ульберг, І.М. Трактенберг та ін. // Доповідь Національної Академії Наук України. – 2013. – № 1. – С. 177–184.
17. Милютин Г.Р. К вопросу о развитии наноструктурных материалов для безопасности жизнедеятельности [Электронный ресурс] / Г.Р. Милютин, Н.В. Черунова. – Режим доступа : <http://www.scienceforum.ru/2014/587/2685>.

Рецензія/Peer review : 20.5.2016 р.

Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор, Доманцевич Н.І.

О.І. ЛИТВИНОВА, Н.П. СУПРУН, С.Я. БРИЧКА

Київський національний університет технологій та дизайну

О.Б. БАЛКО

Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України

РОЗРОБКА НЕТКАНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ ОСНОВ ДЛЯ РАНОВИХ ПОКРИТТІВ НА БАЗІ БАВОВНЯНИХ ВОЛОКОН З НАДАНИМИ БАКТЕРИЦИДНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

В статті представлено результати розробки нетканих бавовняних полотен медичного призначення із наданими бактерицидними властивостями шляхом їх екобезпечної обробки нанопрепаратами срібла. З використанням методів енергодисперсійного спектроскопічного хімічного аналізу та інфрачервоної спектроскопії проведено дослідження структури і поверхневих змін в цих матеріалах.

Ключові слова: ранові покриття, наносрібло, бавовна, екобезпечна обробка.

O.I. LITVINOVA, N.P. SUPRUN, S.YA. BRICHKA

Kyiv National University of Technologies and Design

A.B. BALKO

D.K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the NASU

DEVELOPMENT OF TEXTILE NONWOVEN SUBSTRATES FOR WOUND COATINGS ON THE BASE OF COTTON FIBERS WITH ANTIBACTERIAL PROPERTIES

The article presents the results of the development of non-woven cotton fabrics for medical purposes with antibacterial properties obtained by their ecosafety processing with nanosilver. Using methods of energy dispersive spectroscopic chemical analysis and infrared spectroscopy was studied the structure and changes of surface in these materials.

Keywords: wound coating, nanosilver, cotton, ecosafe treatment.

Вступ

Розробка технології одержання нових аплікаційних матеріалів медичного призначення, до яких відносяться ранові покриття і різні перев'язувальні матеріали, є перспективним і важливим напрямком, такі вироби використовуються як при лікуванні хворих у повсякденній практиці, так в медицині катастроф у випадках масових уражень населення. Особливої актуальності набула ця проблема в сучасних умовах. Своєчасне зупинення кровотечі, обробка відкритих ран антимікробними речовинами, закриття поверхні обпеченої шкіри, зняття болю та набряку, а також інші заходи в екстрених ситуаціях допомагають зберегти життя і мінімізувати інвалідизуючі наслідки поранень і травм.

Упродовж всієї історії людства першим засобом допомоги для зупинки кровотечі та захисту рани були і залишаються ранові покриття, що обумовлено доступністю і простотою їх застосування в різних умовах. Люди з давніх часів для закриття ран застосовували текстильні матеріали, доповнюючи їх природними загоюючими речовинами. Така пов'язка мала не тільки захищати рану від забруднення, але і зменшувати біль, однак при цьому роль самого текстильного матеріалу в лікуванні ран залишалася пасивною – захисною. «Терапія під пов'язками» і зараз залишається одним із основних методів консервативного лікування ран, а в ряді випадків (при супутніх захворюваннях, широких ураженнях, хірургічних протипоказаннях) практично єдиним.

В останні роки у світовій практиці поширюється використання ранових пов'язок нового виду, які мають пролонговану лікувальну та антимікробну дію. Сучасні ранові покриття мають надавати комплексний вплив на рану: ефективно видаляти надлишок ранового ексудату і його токсичних компонентів, забезпечувати адекватний газообмін між раною і атмосферою, запобігати вторинному інфікуванню рани і контамінації об'єктів навколишнього середовища, сприяти створенню оптимальної вологості ранової поверхні, мати антиадгезивні властивості і достатню механічну міцність [1–3]. Відмінною рисою нового покоління покриттів для ран є забезпечення цілеспрямованого транспорту лікувальних речовин в осередок ураження при їх контрольованому вивільненні в необхідній концентрації. Пролонгована лікувальна дія таких матеріалів виключає необхідність частих перев'язок, не порушує процес загоєння рани, полегшує роботу медперсоналу та надає змогу невідкладної самодопомоги пораненій або травмованій людині.

Питання випуску ранових покриттів нового покоління знаходяться в центрі уваги провідних фірм-виробників США, Німеччини, Великобританії та інших розвинених країн. В Україні на сьогоднішній день асортимент ранових покриттів помітно зріс, однак цьому сприяв, в основному, масовий прихід на вітчизняний ринок продукції іноземних виробників.

Постановка завдання

Сучасні ранові пов'язки з пролонгованою лікувальною та антимікробною дією – це, фактично, композити, побудовані, як мінімум, з трьох складових: текстильної основи, полімерного шару і лікарського препарату. При цьому текстильну основу слід розглядати не як інертну підложку, а обирати, виходячи із заданих механічних та фізичних властивостей, а також забезпечення необхідної пролонгації дії антисептиків

та ліків. Серед різноманітних текстильних структур, що використовуються в якості основ для ранових покриттів, найбільш перспективними вважаються неткані полотна [4]. На відміну від тканин і трикотажу, виготовлення нетканних медичних матеріалів не вимагає застосування складного обладнання, їх можна отримувати з відходів виробництва волокон і ниток. Неткані полотна мають гарну поглинаючу здатність, що дозволяє полегшити процес їх обробки лікарськими препаратами, забезпечити легкість проходження і утримування пото- і ранових виділень. Вони легко ріжуться в будь-яких напрямках, не порушуючи структури матеріалу, утворюючи край, що не обсыпається, можуть вільно контактувати з відкритими рановими поверхнями. Неткані полотна легкі і зручні в експлуатації, приємні і м'які на дотик, характеризуються невисокою вартістю.

Однією з основних вимог до властивостей текстильної основи для ранового покриття є наявність бактерицидних властивостей, бажано, пролонгованої дії, для чого застосовують різноманітні групи антимікробних речовин, що належать до різних класів органічних і неорганічних сполук. На даний момент очевидна тенденція до використання малотоксичних антимікробних добавок, серед яких окрема увага приділяється обробці наносріблом [5]. Срібло давно відоме високими антимікробними властивостями по відношенню до широкого спектра мікроорганізмів, завдяки чому воно протягом століть використовувалося для біомедичних застосувань. З розвитком нанотехнологій вчені світу засвідчили про повернення „срібної ери” у лікувальну практику і косметологію. Дезінфікуючі властивості наносрібла виявляються через його поверхню, яка контактує з мікроорганізмами. Активне використання нанокмполімерів срібла для просочення текстилю обумовлено значними і незаперечними перевагами перед усіма існуючими антимікробними засобами, оскільки сполуки срібла, які відрізняються широким спектром антимікробної активності, багато в чому позбавлені недоліків, пов'язаних з проблемою резистентності до них патогенних мікроорганізмів [6]. У вигляді наночасток срібло набуває унікальних властивостей, що зумовлено надзвичайно великою питомою площею поверхні, яка збільшує область контакту з бактеріями і значно підвищує антимікробну дію і дозволяє в сотні разів знизити концентрацію срібла із збереженням всіх бактерицидних властивостей [7].

Метою даної роботи є розробка нетканних текстильних основ для ранових покриттів на базі бавовняних волокон з наданими бактерицидними властивостями за рахунок обробки наносріблом.

Експериментальна частина

З використанням голкопробивного методу з'єднання нами отримані неткані полотна на базі бавовняних волокон товщиною 5,0 мм з поверхневою густиною 81 г/м².

Для надання антибактеріальних властивостей полотну обробили за раніше розробленою методикою [8] шляхом відновлення срібла з водного розчину нітрату срібла у присутності поверхнево-активної речовини з використанням глюкози в якості відновника. Такі умови забезпечили екобезпечність процесу, що є важливим для матеріалів, які контактують з відкритими ранами. Перевірку антибактеріальних властивостей отриманого колоїдного розчину проводили на референтних штаммах *S. aureus* УКМ В-904 (ATCC 25923), *E. coli* УКМ В-906 (ATCC-25922) і *P. aeruginosa* УКМ В-907 (ATCC-27853) із Української колекції мікроорганізмів (УКМ, Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України) за методом Грація [9, 10]. Для цього культури вирощували на скошеному МПА (м'ясо-пептонний агар) протягом 24 год при 37 °С. Із добових культур в 0,85% розчині NaCl готували бактеріальні суспензії за стандартом мутності 10 Од (1×10⁹ КУО/мл). Суспензії розводили в МПБ (м'ясо-пептонний бульйон) у співвідношенні 1:2 і вносили по 50 мкл в 5 мл попередньо розплавленого і охолодженого до 50–55°С НРА (напіврідкий агар) із вмістом агару 0,7%. НРА нашаровували на щільне середовище МПА в чашках Петрі і очікували до його застигання. Таким чином, кінцевий титр тест-штамів мікроорганізмів у верхньому агарі становив 5×10⁶ КУО/мл. На поверхню двошарового агару наносили по 10 мкл досліджуваного колоїдного розчину, а також позитивний і негативний контрольні зразки. Після всмоктування речовин чашки культивували при 37 °С протягом 24 год. Наявність антимікробних властивостей щодо використаних тест-штамів мікроорганізмів встановлювали за появою зон відсутності росту в місці нанесення розчину. Коректність проведеного експерименту оцінювали за наявністю зони просвітлення в місці нанесення позитивного контрольного зразка і відсутністю – в місці нанесення негативного контрольного зразка. Проведені експерименти засвідчили, що вихідний золь наночастинок срібла в різній мірі пригнічує ріст досліджених штамів мікроорганізмів. Найбільш чутливою до дії золю виявилась культура *S. aureus*, найменш чутливою – *E. coli*.

Гетерокоагуляція позитивно заряджених наночасток срібла здійснюється на поверхні волокон бавовни в нетканому матеріалі, які заряджені негативно, за рахунок електростатичної (різності зарядів наночастинок і поверхні) та міжмолекулярної взаємодії. Структура вихідних та наномодифікованих сріблом матеріалів характеризувалася методом скануючої електронної мікроскопії з використанням мікроскопу MIRA3 LMU, Tescan з роздільною здатністю ±1 нм і з системою енергодисперсійного спектроскопічного хімічного аналізу Oxford X-MAX 80 mm²; невизначеність приладу ±1 %. Аналіз отриманих мікрофотографій (рис. 1) дозволяє стверджувати, що в результаті модифікування колоїдним сріблом на поверхні бавовняних волокон досліджуваних зразків нетканних матеріалів фіксуються частинки нанорозмірного срібла.

Результати хімічного енергодисперсійного аналізу вихідного і модифікованого наносріблом нетканого полотна із бавовняних волокон в обраних областях (табл. 1) є свідченням модифікування бавовни наночастками срібла. В спектрах зафіксовано елементи – вуглець, кисень та срібло – тільки в модифікованій бавовні. Слід відзначити, що вміст елементів менше 1 % не фіксується в енергодисперсійному аналізі.

Срібло перебуває в дисперсному, не іонному стані, стан срібла металічний, тому його вміст на різних ділянках істотно в рази відрізняється (табл. 1).

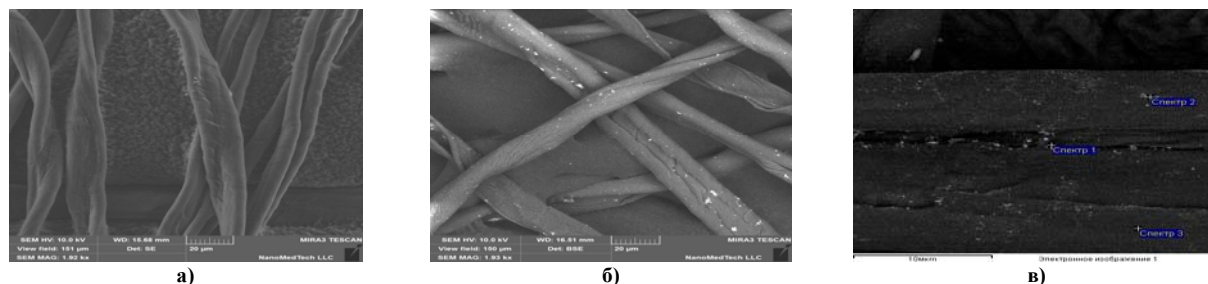


Рис. 1. Фотографії сканованих електронних зображень поверхні нетканого бавовняного полотна: (а) – вихідного, (б) – модифікованого наночастками срібла, (в) - області, обрані для хімічного енергодисперсійного аналізу

Інформацію про якісний склад зразків та взаємодію між компонентами матеріалу надає аналіз розташування і інтенсивності максимумів в інфрачервоних спектрах, які вимірювали при кімнатній температурі на спектрометрі IR Affinity-1, Shimadzu в області $4000\text{--}550\text{ cm}^{-1}$ з використанням приставки багаторазового порушеного повного внутрішнього відбиття з алмазним наконечником і невизначеністю приладу $\pm 2\text{ cm}^{-1}$. ІЧ-спектри зразків вихідної та модифікованої бавовни зняті в області $4000\text{--}600\text{ cm}^{-1}$. Бавовна є біополімером, якому відповідають основні смуги поглинання деформаційних та валентних коливань, характерним для полісахаридів.

Таблиця 1

Результати хімічного енергодисперсійного аналізу вихідних і модифікованих наносріблом бавовняних нетканних полотен в обраних областях

Елементи / Облас­ті аналізу	C	O	Ag
	Вміст, %		
Вихідний	75.33	24.67	-
Вихідний	78.6	21.4	-
Спектр 1	26.36	17.53	56.11
Спектр 2	95.85	0	4.15
Спектр 3	78.63	21.37	-

У спектрі вихідної бавовни в області 3600 cm^{-1} проявляються смуги валентних коливань зв'язку -ОН різних груп (первинних, вторинних, третинних). Ця широка смуга має два максимуми 3332 cm^{-1} – первинна -ОН та 3279 cm^{-1} – вторинна -ОН. Валентні коливання С-О різних груп (С-ОН – первинна, ОН-вторинна, С-О-С – циклічна, С-О-С – міжциклічна (глікозидний зв'язок), проявляються в області $900\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$, складною смугою з декількома максимумами, які відповідають цим зв'язкам, відповідно: 1000 cm^{-1} , 1028 cm^{-1} , 1054 cm^{-1} , 1106 cm^{-1} , 1159 cm^{-1} . Також у спектрі є смуги валентних та деформаційних коливань С-Н – зв'язок різних груп. Смуга з максимумом 2895 cm^{-1} – відповідає валентним коливанням -СН- групі, а в області $1300\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$ деформаційним коливанням -СН, як циклічного, так і скелетного типу.

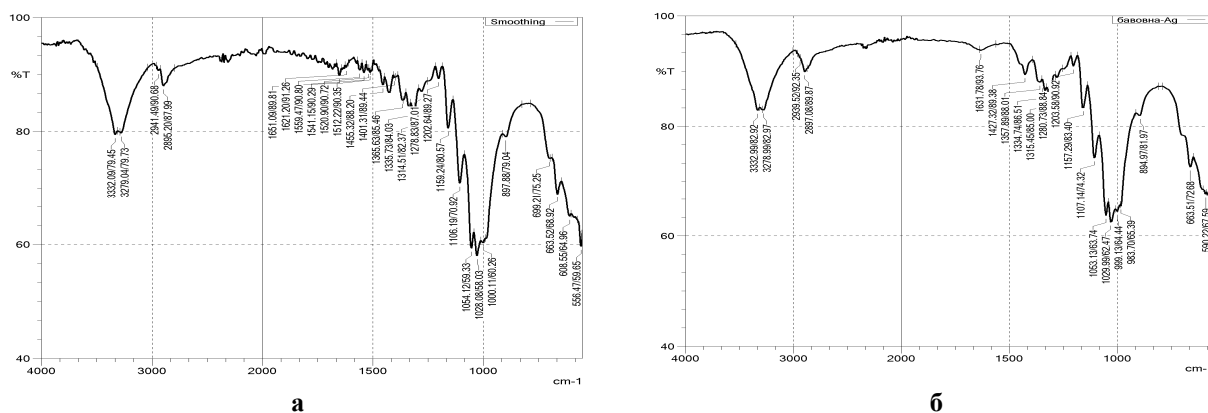


Рис. 2. ІЧ спектри вихідного (а) і модифікованого наносріблом (б) бавовняного нетканого полотна

Таким чином, аналіз засвідчив, що зразки містять первинні та вторинні ОН групи, які мають властивості утворювати водневий зв'язок різної сили. Первинні групи утворюють такий зв'язок швидше, але він слабкіший за силою взаємодії, а вторинні групи – повільніше, але зв'язок сильніший. Саме це забезпечує здатність частинок срібла при обробці нетканого бавовняного полотна розчином AgNO_3 завдяки водневим зв'язкам добре сорбуватися та утримуватися на поверхні і всередині молекул. Очевидно, що фізична чи

хімічна взаємодія між модифікатором (сріблом) і волокнами не фіксується; ані хімічна, ані фізична природа полісахариду не змінюється.

Висновки

Отримано срібловмісний бавовняний волокнистий нетканый матеріал для використання у якості бактерицидної текстильної основи для ранових покриттів. Експерименти засвідчили, що вихідний золь наночастинок срібла, яким проводилась екобезпечна обробка матеріалу, пригнічує ріст досліджених штамів мікроорганізмів. З використанням методів скануючої електронної мікроскопії, енергодисперсійного спектроскопічного хімічного аналізу та інфрачервоної спектроскопії проведено дослідження структури і властивостей отриманих матеріалів.

Література

1. Шаблин Д.В. Современные раневые покрытия в местном лечении ран различного генеза : обзор лит. / Д.В. Шаблин, С.Г. Павленко, А.А. Евглевский, П.П. Бондаренко, А.А. Хуранов // *Фундам. исслед.* – 2013. – № 12 (2). – С. 361 – 365.
2. Привольнев В.В. Основные принципы местного лечения ран и раневой инфекции / В.В. Привольнев, Е. В. Каракулина // *Клин. микробиология и антимикроб. химиотерапия.* – 2011. – Т. 13, № 3. – С. 214–22.
3. Абаев Ю.К. Многокомпонентные перевязочные средства в лечении гнойных ран / Ю.К. Абаев, В.Е. Капуцкий, А.А. Адарченко // *Хирургия.* – 1999. – № 10. – С. 69–71.
4. Rajendran S. *Advanced Textiles for Wound Care* (1st Edition). 2009. 384 p.
5. Кричевский Г.Е. Нано-био-химические технологии в производстве нового поколения волокон, текстиля и одежды : монография / Кричевский Г.Е. – М., 2011. – 528 с.
6. Супотницький М. В. Механізми розвитку резистентності к антибіотикам у бактерій / М. В. Супотницький // *Биопрепараты.* – 2011. – № 2. – С. 4–11.
7. Landage S. M. and Wasif A. I. Nanosilver – An effective antimicrobial agent for finishing of textiles, *International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies.* 2012, Vol. 4(1). P. 66–78.
8. Супрун Н.П. Формування нанорозмірних часток срібла в нетканих полотнах для ранових покриттів на базі шовкових волокон / Н.П. Супрун, С.Я. Бричка. – К. : Вісник КНУТД. – 2016. – № 2. – С. 134–140.
9. Elfarash A., Dingemans J., Ye L., Hassan A.A., Craggs M., Reimmann C., Thomas M.S., Cornelis P. Pore-forming pyocin S5 utilizes the FptA ferripyochelin receptor to kill *Pseudomonas aeruginosa*. *Microbiology.* 2014. № 2. P. 261 – 269.
10. Elfarash A., Wei Q., Cornelis P. The soluble pyocins S2 and S4 from *Pseudomonas aeruginosa* bind to the same FpvAI receptor. *Microbiology.* 2012. 1. P. 268–275.

Рецензія/Peer review : 15.7.2016 р.

Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф., Галавська Л.Є.

ВПЛИВ РОСЛИННОГО БАРВНИКА І ПРОТРАВЛЮВАЧА НА БІОСТІЙКІСТЬ ПОФАРБОВАНОЇ РОСЛИННИМИ БАРВНИКАМИ ВОВНЯНОЇ ПЛАТТЯНОЇ ТКАНИНИ

В роботі вивчена та обґрунтована доцільність використання деяких видів рослинних барвників і протравлювачів на формування біостійкості та екологічної безпечності вовняних платтяних тканин

Ключові слова: біостійкість, екологічна безпечність, рослинний барвник, протравлювач, вовняна платтяна тканина, критерії оцінки біостійкості.

O.M. HUSCHAK

Lviv Institute of Economics and Tourism

B.D. SEMAK

Lviv University of Trade and Economics

INFLUENCE OF HERBAL DYE AND PROTECTANT ON THE BIOSTABILITY OF WOOL FABRIC PAINTED BY PLANT DYES

The appropriateness of using of certain types of plant dyes and protectants on the formation of biological stability and ecological safety of the woollen fabrics was studied and grounded in the work.

Key words: biological stability, environmental safety, plant dye, protectant, woollen fabric, criteria for evaluation of biological stability.

Вступ

Як відомо, наявність на текстильних одягових матеріалах волоконоруйнуючих, патогенних та інших фізіологічних груп мікроорганізмів обумовлює не тільки суттєві зміни у зносостійкості, але й в екологічній безпечності та гігієнічності [1, 2]. В даній роботі ми обмежимося тільки вивченням впливу виду рослинного барвника і виду протравлювача пофарбованої рослинними барвниками вовняної платтяної тканини на зміну її біостійкості, акцентуючи основну увагу на забезпечення необхідної екологічної безпечності даної тканини.

Постановка проблеми

Необхідність всестороннього вивчення структури асортименту, властивостей, рівня якості та безпечності рослинних барвників і пофарбованих ними текстильних матеріалів одягового та інтер'єрного призначення обумовлена низкою причин, а саме:

- потребою більш раціонального та ефективного використання власної екологобезпечної текстильної сировини, яка на відміну від зарубіжних країн використовується в нашій країні поки обмежено;
- доцільністю використання рослинних барвників текстильного призначення для експорту на ринки європейських країн, де ці барвники користуються підвищеним попитом і популярністю;
- можливістю підвищення конкурентоспроможності вітчизняної текстильної продукції в результаті екологізації її асортименту шляхом заміни токсичних марок синтетичних барвників рослинними при її фарбуванні.

Разом з тим, вплив основних видів рослинних барвників та протравлювачів текстильного призначення на формування біостійкості, гігієнічності та екологічної безпечності пофарбованих ними текстильних матеріалів і виробів одягового та інтер'єрного призначення різних способів виробництва та волокнистого складу вивчено недостатньо. Особливо це стосується наступних питань:

- необхідності проведення державної інвентаризації реальних запасів рослинних барвників у сферах сільського і лісового господарства України;
- оцінки можливостей селекції, вирощування, первинної обробки та застосування елітних видів рослинних барвників текстильного призначення у спеціалізованих державних фірмах та фермерських господарствах, як це прийнято в деяких європейських країнах навіть при обмежених їх земельних ресурсах;
- організації статистичної державної та галузевої звітності про реальні запаси, заготівлю, первинне перероблення та сфери застосування різних за призначенням видів рослинних барвників в окремих галузях промисловості (текстильній, фармацевтичній, харчовій, парфумерно-косметичній та інших);
- забезпечення необхідності державної підтримки в організації вирощування, заготівлі, первинній переробці та застосуванні рослинних барвників різного цільового призначення.

На нашу думку, назріла потреба у створенні державної міжгалузевої цільової програми «Рослинні барвники України» та конкретизації шляхів і напрямків її реалізації із залученням фахівців різного профіля (агрономів, технологів, стандартизаторів, екологів, гігієністів, хіміків, біологів, товаровознавців, маркетингологів та інших).

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Як відомо, проблеми вивчення впливу рослинних барвників, протравлювачів та субстрату одягових текстильних матеріалів на формування їх біостійкості та екологічної безпечності постійно розглядається на міжнародних, регіональних і міжвузівських науково-практичних конференціях та узагальнюється у різноманітних періодичних і монографічних виданнях. Для прикладу, розглянемо деякі з них, які опубліковані в останні роки.

Авторами роботи [3] вивчено фарбувальну та біоцидну здатність екстракту із лушпиння цибулі ріпчастої та обґрунтована його придатність для одночасного фарбування та антимікробного оброблення вовняних і бавовняних платтяних й сорочкових тканин.

Авторами роботи [4] вивчена можливість використання екстрактів із ялівцю звичайного та шавлії мускатної для одночасного фарбування та біоцидного оброблення текстильних целюлозних матеріалів санітарно-медичного призначення. Вивчено хімічний склад названих екстрактів і встановлено, що їх антимікробні властивості обумовлені наявністю у складі названих екстрактів терпенів і їх похідних.

Авторами роботи [5] дана характеристика основних чинників, які визначають ефективність антимікробного оброблення одягових текстильних матеріалів. Обґрунтована доцільність використання поліфункціональних обробних силіконових препаратів для поверхневої модифікації названих матеріалів з метою надання їм одночасно декількох необхідних ефектів – біостійкості, водоопірності, екологічної безпечності та інших.

Авторами роботи [6] обґрунтована екологічна доцільність більш ефективного захисту текстильних матеріалів і виробів одягового, медичного, інтер'єрного та технічного призначення від негативного впливу на них патогенних мікроорганізмів шляхом їх поверхневої модифікації різноманітними біоцидними препаратами. Особливо це актуально для пофарбованих рослинними барвниками одягових текстильних матеріалів (екотекстиль).

Мета роботи: вивчення впливу виду рослинного барвника текстильного призначення і виду протравлювача на пригнічення розвитку патогенних мікроорганізмів на вовняній платтяній тканині.

Викладення основного матеріалу в його авторській інтерпретації

Як відомо, необхідність і доцільність вивчення впливу виду рослинного барвника та протравлювача на гальмування розвитку наявних на вовняних одягових тканинах патогенних мікроорганізмів обумовлено низкою причин, а саме:

- тенденцією широкого застосування рослинних барвників замість токсичних марок синтетичних для фарбування екологічнобезпечних видів одягових текстильних матеріалів (екотекстиль), як це прийнято у багатьох зарубіжних країнах;
- можливістю захисту одягових текстильних матеріалів (особливо екотекстилю) від шкідливого впливу патогенних мікроорганізмів екологічнобезпечними видами рослинних барвників;
- відсутністю в літературних джерелах із товарознавства текстилю і одягу інформації про вплив протравлювачів на гальмування розвитку патогенних мікроорганізмів в результаті фарбування цих матеріалів рослинними барвниками.

Об'єктом дослідження в даній роботі служила чистововняна камвольна платтяна тканина арт.1144, пофарбована різними видами рослинних барвників і протравлена одночасно із фарбуванням різними видами протравлювачів (табл.1.).

Для оцінки впливу виду рослинного барвника і виду протравлювача на біостійкість пофарбованої вовняної тканини нами були обрані наступні критерії [7]:

- загальне обсіменіння – КУО МАФAM / см^2 – кількість колонієутворюючих одиниць (КУО) мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів (МАФAM) на 1 см^2 :

- *S. Aureus* – Стафілокок золотистий (*Staphylococcus aureus*) — найбільш патогенний вид стафілококів, збудники гнійно-запальних уражень у людини. Золотистий стафілокок, в систематиці бактерій, відноситься до роду стафілококи (*Staphylococcus*), який входить в сімейство *Staphylococcaceae*, порядок *Bacillales*, клас *Bacilli*, тип *Firmicutes*, царство Бактерії. Золотистий стафілокок найчастіше колонізує носові ходи, пахвові області.

- *E. Coli* - (ешерихія колі, лат. *Escherichia coli*; загальноприйняте скорочення *E. coli*) — вид грамнегативних паличковидних бактерій, факультативних анаеробів, що входить до складу нормальної мікрофлори шлунково-кишкового тракту людини. Вид ешерихія колі (*E. coli*) включений в рід ешерихії (лат. *Escherichia*), сімейство ентеробактерії (лат. *Enterobacteriaceae*), порядок ентеробактерії (лат. *Enterobacteriales*), клас гамма-протеобактерії (лат. γ *proteobacteria*), тип протеобактерії (лат. *Proteobacteria*), царство бактерії. Існує велика кількість різновидів кишкової палички (*Escherichia coli*), у тому числі, понад 100 патогенних («ентеровірулентних») типів, об'єднаних у чотири класи: ентеропатогенні, ентеротоксигенні, ентероінвазивні і ентерогеморагічні. Морфологічні відмінності між патогенними і непатогенними ешерихіями відсутні

Кишкові палички (*Escherichia coli*) стійкі у зовнішньому середовищі, тривалий час зберігаються в ґрунті, воді, фекаліях. Добре переносять висушування. Кишкові палички мають здатність до розмноження в харчових продуктах, особливо в молоці. Швидко гинуть при кип'ятінні і впливі дезінфікуючих засобів (хлорного вапна, формальдегіду, фенолу, сулеми, їдкого натру та ін). Кишкові палички більш стійкі у зовнішньому середовищі, порівняно з іншими ентеробактеріями. Пряме сонячне проміння вбиває їх

протягом декількох хвилин, температура 60°C і 1 % розчин карболової кислоти протягом 15 хвилин. Частина кишкових паличок має джгутики і рухливі. В інших кишкових паличок джгутики і здатність до руху відсутні.

- Ps. Aeruginosa Синьогнійна паличка (лат. *Pseudomonas aeruginosa*) — вид грамнегативних аеробних неспороутворюючих бактерій. *Pseudomonas aeruginosa* рухливі і мають форму прямих або вигнутих паличок довжиною від 1 до 5 мкм і діаметром від 0,5 до 1,0 мкм. Синьогнійна паличка живе в ґрунті, воді, на рослинах. Вона дуже стійка до впливу багатьох дезінфікуючих засобів і може розмножуватися в їх слабких розчинах, а також у дистильованій воді.

Синьогнійна паличка іноді зустрічається на шкірі пахових і пахвових областей, в зовнішньому слуховому проході, верхніх дихальних шляхах і товстій кишці здорових людей.

Синьогнійна паличка (*Pseudomonas aeruginosa*), в систематиці бактерій, відноситься до групи *Pseudomonas aeruginosa* group, яка входить в рід псевдомонади (*Pseudomonas*), сімейство *Pseudomonadaceae*, порядок *Pseudomonadales*, клас гамма-протеобактерії (γ *proteobacteria*), тип протеобактерії (*Proteobacteria*), царство бактерії.

Оцінку впливу виду рослинного барвника та виду протравлювача на зміну чисельності різних фізіологічних груп і видів мікроорганізмів на вовняній тканині проведено у Львівській акредитованій державній лабораторії ветеринарної медицини. Отримані результати досліджень наведені у табл.1-2.

Таблиця 1

Обсіменіння мікроорганізмами вовняної тканини, пофарбованої досліджуваними рослинними барвниками

№ з/п	Вид оброблення тканини	Загальне обсіменіння		S. Aureus		E. Coli		Ps. Aeruginosa	
		КУО МАФА М/см ²	%, порівняно з контролем	КУО/см ²	%, порівняно з контролем	КУО/см ²	%, порівняно з контролем	КУО/см ²	%, порівняно з контролем
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Тканина відбілена (контроль)	3495	100	991	100	1220	100	1252	100
2	Тканина, пофарбована екстрактом сухої трави багна звичайного без протравлювання	2834	81,1	834	84,1	989	81,1	1011	80,7
	Те ж , з одночасним протравлюванням KAl (SO ₄) ₂	2025	57,9	98	9,9	804	65,9	1083	86,5
	Те ж , K ₂ Cr ₂ O ₇	3347	95,7	1184	119,5	973	79,7	1126	92,5
	Те ж , CuSO ₄	2186	62,5	108	10,9	931	76,3	1109	88,6
	Те ж , FeSO ₄	3239	92,7	1074	108,4	979	80,2	1148	91,7
	Те ж , Fe(NH ₄)(SO ₄) ₂	3128	89,5	1063	107,3	938	76,9	1087	86,8
3	Тканина пофарбована екстрактом сухих листків винограду амурського без протравлювання	3364	96,2	1065	107,5	1120	99,8	1154	92,2
	Те ж , з одночасним протравлюванням KAl (SO ₄) ₂	2037	58,3	103	10,4	809	66,3	1086	86,7
	Те ж , K ₂ Cr ₂ O ₇	3370	96,4	1189	119,9	978	80,2	1162	92,8
	Те ж , CuSO ₄	2201	62,9	112	11,3	935	76,6	1112	88,8
	Те ж , FeSO ₄	3252	93,1	1078	108,8	982	80,5	1153	92,1
	Те ж , Fe(NH ₄)(SO ₄) ₂	3144	89,9	1068	107,7	941	77,1	1092	87,2

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	Тканина пофарбована екстрактом сухої трави гірчака перцевого без протравлювання	3315	94,8	1171	118,2	981	80,4	1153	92,1
	Те ж , з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	1990	56,9	83	8,4	791	64,8	1071	85,5
	Те ж , $K_2Cr_2O_7$	3308	94,6	1169	117,9	961	78,8	1142	91,2
	Те ж , $CuSO_4$	2144	61,3	95	9,6	916	75,1	1091	87,1
	Те ж , $FeSO_4$	3203	91,6	1061	107,6	963	78,9	1136	90,7
	Те ж , $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	3088	88,4	1049	105,8	923	75,7	1073	85,7
5	Тканина пофарбована екстрактом сухих ягід глоду звичайного без протравлювання	3293	94,2	963	97,2	1163	95,3	1160	92,6
	Те ж , з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	1946	55,7	71	7,16	780	63,9	1060	84,7
	Те ж , $K_2Cr_2O_7$	3285	93,9	1159	116,9	954	78,2	1133	90,5
	Те ж , $CuSO_4$	2111	60,4	84	8,5	904	74,1	1080	86,3
	Те ж , $FeSO_4$	3169	90,7	1050	105,9	951	77,9	1126	89,9
	Те ж , $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	2114	60,5	94	9,5	914	74,9	1064	84,9
6	Тканина пофарбована екстрактом сухої трави деревію без протравлювання	3356	96,2	989	99,8	1182	96,8	1155	92,2
	Те ж , з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	1974	56,5	77	7,8	786	64,4	1066	85,1
	Те ж , $K_2Cr_2O_7$	2398	68,6	1165	117,6	959	78,6	1139	90,9
	Те ж , $CuSO_4$	2129	60,9	89	8,9	911	74,7	1086	86,7
	Те ж , $FeSO_4$	3186	91,2	1056	106,6	957	78,4	1132	90,7
	Те ж , $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	2132	61,0	99	9,9	919	75,3	1069	85,4
7	Тканина пофарбована екстрактом сухих квіток каштану без протравлювання	3287	94,4	985	99,4	1116	91,5	1154	92,2
	Те ж , з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	1939	55,5	66	6,7	775	63,5	1056	84,3
	Те ж , $K_2Cr_2O_7$	3272	93,6	1154	116,5	949	77,8	1128	90,0
	Те ж , $CuSO_4$	2096	59,9	79	7,9	899	73,7	1075	85,9
	Те ж , $FeSO_4$	3150	90,1	1045	105,5	946	77,5	1121	89,5
	Те ж , $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	2092	59,8	89	8,9	909	74,5	1059	84,6
8	Тканина пофарбована екстрактом сухої трави кермека Гмеліна без протравлювання	3327	95,2	985	99,4	1154	94,6	1156	92,3
	Те ж , з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	1989	56,9	88	8,8	794	65,1	1075	85,9
	Те ж , $K_2Cr_2O_7$	3320	94,9	1174	118,5	963	78,9	1147	93,8
	Те ж , $CuSO_4$	2152	61,6	98	9,9	921	75,5	1096	87,5
	Те ж , $FeSO_4$	3214	91,9	1065	107,5	969	79,4	1139	90,9
	Те ж , $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	3096	88,6	1052	106,2	929	76,1	1078	86,1

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	Тканина пофарбована екстрактом сухої трави материнки звичайної без протравлювання	3088	88,3	875	88,3	1031	84,5	1154	92,2
	Те ж , з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	1924	55,1	62	6,3	755	61,9	1062	84,8
	Те ж , $K_2Cr_2O_7$	3261	93,3	1152	116,2	940	77,0	1130	90,2
	Те ж , $CuSO_4$	2106	60,3	77	7,8	897	73,5	1091	87,1
	Те ж , $FeSO_4$	3136	89,7	1042	105,1	935	76,6	1123	89,7
	Те ж , $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	2124	60,8	88	8,8	899	73,7	1095	87,5
10	Тканина пофарбована екстрактом кореня ревеню без протравлювання	3221	92,2	957	96,6	1038	85,1	1195	95,4
	Те ж , з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	2116	60,5	126	12,71	835	68,4	1112	88,8
	Те ж , $K_2Cr_2O_7$	2324	66,5	1211	122,2	996	81,6	1181	94,3
	Те ж , $CuSO_4$	2252	64,4	129	13,0	954	78,2	1135	90,6
	Те ж , $FeSO_4$	3295	94,3	1091	110,1	998	81,8	1171	93,5
	Те ж , $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	3189	91,3	1083	109,3	961	78,8	1109	88,6
11	Тканина пофарбована екстрактом трави родовика лікарського без протравлювання	3282	93,9	932	94,0	1101	90,2	1225	97,8
	Те ж , з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	2014	57,6	93	9,4	799	65,5	1079	86,2
	Те ж , $K_2Cr_2O_7$	3343	95,6	1179	118,9	968	79,3	1153	92,1
	Те ж , $CuSO_4$	2175	62,2	103	10,4	926	75,9	1104	88,2
	Те ж , $FeSO_4$	3223	92,2	1069	107,9	974	79,8	1143	91,3
	Те ж , $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	3109	88,9	1057	106,7	933	76,5	1082	86,4
12	Тканина пофарбована екстрактом відходів тютюну справжнього без протравлювання	3356	96,0	953	96,2	1164	95,4	1203	96,1
	Те ж , з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	2083	59,6	121	12,2	821	67,3	1106	88,3
	Те ж , $K_2Cr_2O_7$	3396	97,2	1202	121,3	986	80,8	1172	93,6
	Те ж , $CuSO_4$	2231	63,8	122	12,3	944	77,4	1129	90,2
	Те ж , $FeSO_4$	3284	93,9	1089	109,9	993	81,4	1163	92,9
	Те ж , $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	3169	90,7	1079	108,9	951	77,9	1102	88,0
13	Тканина пофарбована екстрактом сухої кори черемхи без протравлювання	3293	94,2	896	90,1	1153	94,5	1207	95,9
	Те ж , з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	2049	58,6	105	10,6	814	66,7	1091	87,1
	Те ж , $K_2Cr_2O_7$	3379	96,7	1192	120,3	982	80,5	1167	93,2
	Те ж , $CuSO_4$	2214	63,3	117	11,8	939	76,9	1121	89,5
	Те ж , $FeSO_4$	3265	93,4	1082	109,2	987	80,9	1159	92,6
	Те ж , $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	3150	90,1	1072	108,2	946	77,5	1097	87,6

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14	Тканина пофарбована екстрактом сухих листків черемхи без протравлювання	3316	94,9	901	90,9	1167	95,6	1209	96,6
	Те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	3098	88,6	819	82,6	1152	94,4	1099	87,8
	Те ж, $K_2Cr_2O_7$	3303	94,5	985	99,4	1108	90,8	1187	94,8
	Те ж, $CuSO_4$	3141	89,9	959	96,8	993	81,4	1154	92,2
	Те ж, $FeSO_4$	3186	91,2	989	99,8	998	81,8	1164	93,0
	Те ж, $Fe(NH_4)(SO_4)_2$	3182	91,0	921	92,9	1102	90,3	1132	90,4

Таблиця 2

Рангові ряди інтенсивності гальмування розвитку патогенних мікроорганізмів (%) на пофарбованій рослинними барвниками вовняній платтяній тканині

№ з/п	Барвник	S. Aureus	№ з/п	Барвник	E. Coli	№ з/п	Барвник	Ps. Aeruginosa
1	Трава багна звичайного	15,9	1	Трава гірчака перцевого	19,6	1	Трава багна звичайного	19,3
2	Трава материнки звичайної	11,7	2	Трава багна звичайного	18,9	2	Трава гірчака перцевого	7,9
3	Кора черемхи	9,9	3	Трава материнки звичайної	15,5	3	Трава деревію	7,8
4	Листки черемхи	9,1	4	Корінь ревеню	14,9	4	Квітки каштану	7,8
5	Трава родовика лікарського	6,0	5	Трава родовика лікарського	9,8	5	Трава материнки звичайної	7,8
6	Відходи тютюну	3,8	6	Квітки каштану	8,5	6	Листки винограду	7,8
7	Корінь ревеню	3,4	7	Кора черемхи	5,5	7	Трава кермека Гмеліна	7,7
8	Ягоди глоду	2,8	8	Трава кермека Гмеліна	5,4	8	Ягоди глоду	7,4
9	Квітки каштану	0,6	9	Ягоди глоду	4,7	9	Корінь ревеню	4,6
10	Трава кермека Гмеліна	0,6	10	Відходи тютюну	4,6	10	Кора черемхи	4,1
11	Трава деревію	0,2	11	Листки черемхи	4,4	11	Відходи тютюну	3,9
			12	Трава деревію	3,2	12	Листки черемхи	3,4
			13	Листки винограду	0,2	13	Трава родовика лікарського	2,2

Аналіз даних табл.1. дозволяє зробити наступні узагальнюючі висновки:

- фарбування вовняної платтяної тканини досліджуваними видами рослинних барвників обумовлює суттєве (в межах 5-20%) зниження на цій тканині загальної чисельності мікроорганізмів, а також їх окремих патогенних видів (про це переконливо свідчить зменшення кількості КҮО на 1см² цієї тканини після її фарбування обраними видами рослинних барвників);
- найбільш ефективними інгібіторами захисту вовняної платтяної тканини від шкідливого впливу патогенних мікроорганізмів виявились наступні види рослинних барвників для її фарбування: екстракт трави багна звичайного та екстракт трави материнки звичайної;
- виявлено значний і неоднозначний вплив обраних для одночасного з фарбуванням протравлення вовняної тканини різних за хімічною будовою протравлювачів – $KAl(SO_4)_2$; $K_2Cr_2O_7$; $CuSO_4$; $FeSO_4$; $Fe(NH_4)(SO_4)_2$

- встановлено, що різні досліджувані фізіологічні групи і види патогенних мікроорганізмів характеризуються різною чутливістю до наявних на вовняній тканині рослинних барвників і особливо протравлювачів

Конкретизуємо деякі із названих висновків.

По-перше, суттєве гальмування розвитку патогенних мікроорганізмів на вовняній тканині в результаті її фарбування 13-ма видами рослинних барвників слід вважати виправданим, оскільки це свідчить про можливість екологізації процесу фарбування та асортименту вовняних тканин шляхом заміни рослинними барвниками канцерогенних і токсичних марок синтетичних барвників у текстильному виробництві. Той факт, що фарбування вовняної тканини екстрактами із листків винограду і трави гірчака перцевого обумовлює деяку активізацію розвитку на вовняній тканині патогенних мікроорганізмів виду *S. Aureus*, слід вважати винятком, із загальної закономірності впливу досліджуваних видів рослинних барвників на помітне гальмування життєдіяльності досліджуваних видів мікроорганізмів.

По-друге, як видно із аналізу даних табл.1, обрані види протравлювачів залежно від їх хімічної будови та виду рослинного барвника можуть суттєво гальмувати або, навпаки, активізувати розвиток на досліджуваній вовняній тканині окремих видів патогенних мікроорганізмів.

При цьому встановлено, що найбільш чутливими до дії окремих видів протравлювачів (особливо $KAl(SO_4)_2$ та $CuSO_4$) виявились патогенні мікроорганізми виду *S. Aureus*. Гальмування $KAl(SO_4)_2$ і $CuSO_4$ розвитку названого видів мікроорганізмів для пофарбованих різними видами рослинних барвників вовняних тканин знаходиться у межах 87-94%. Це стосується і інших видів патогенних мікроорганізмів (*E. Coli* та *Ps. Aeruginosa*)

Враховуючи різну чутливість досліджуваних видів патогенних мікроорганізмів до дії окремих видів обраних для фарбування рослинних барвників, представляється доцільним побудувати рангові ряди впливу пофарбувань на інтенсивність гальмування ними розвитку співставлених видів патогенних мікроорганізмів

Як видно із аналізу даних табл.2, досліджувані види рослинних барвників вибірково гальмують на пофарбованій цими барвниками вовняній тканині окремі види патогенних мікроорганізмів. Про це свідчить різниця в співставлених рангових рядах інтенсивності гальмування розвитку досліджуваних видів мікроорганізмів.

Загальні висновки

1. Встановлено, що відповідним відбором рослинних барвників для фарбування платтяних вовняних тканин і протравлювачів для протравлювання отриманих пофарбувань можна цілеспрямовано регулювати кількість КУО патогенних мікроорганізмів на цих тканинах. Встановлено рангові ряди гальмувальної здатності розвитку патогенних мікроорганізмів (*S. Aureus*, *E. Coli*, *Ps. Aeruginosa*) 13-ма видами рослинних барвників текстильного призначення.

2. Встановлено, що для надання необхідної біостійкості (особливо стійкості до шкідливої дії патогенних мікроорганізмів) платтяним вовняним тканинам в результаті їх фарбування рослинними барвниками серед досліджених нами видів цих барвників найбільш виправдано використовувати екстракти багна звичайного та екстракти материнки звичайної у поєднанні цих барвників із протравлювачами $KAl(SO_4)_2$ та $CuSO_4$.

3. Обґрунтована можливість використання показників біостійкості пофарбованих рослинними барвниками вовняних платтяних тканин як одного із об'єктивних і ефективних критеріїв оцінки екологічної безпечності цих тканин і виробів з них. Для цього доцільно внести відповідні доповнення у ДСТУ 4239:2003

Література

1. Галик І.С. Екологічна безпека та біостійкість текстильних матеріалів : монографія / І.С. Галик, О.Б. Концович, Б.Д.Семак. - Львів: видавництво Львівської комерційної академії, 2006. – 232с.
2. Галик І.С. Проблеми формування та оцінювання екологічної безпечності текстилю : монографія / І.С. Галик, Б.Д.Семак. - Львів: видавництво Львівської комерційної академії, 2014. – 488с.
3. Дацко. О.І. Дослідження біоцидних властивостей тканин, пофарбованих екстрактом цибулі ріпчастої / О.І. Дацко, І.С. Галик, Р.В. Куцик // Вісник Львівської комерційної академії. Серія товарознавча. – Львів: видавництво Львівської комерційної академії, 2008. -Випуск 9– С.126-134
4. Голованов В.А. Применение фитопрепаратов для придания антимикробных свойств текстильным материалам / В.А. Голованов, А.С. Абрамова, О.П. Сумская // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. - №4/6 (52). – С. 6-9
5. Галик І.С. Роль біостійкості текстилю у формуванні його екологічної безпечності / І.С. Галик, Б.Д.Семак. // Вестник Херсонского национального университета, 2014. – №6. – С.143-149.
6. Рудавська Г.Б. Санітарно-гігієнічна експертиза товарів: Підручник // Г.Б. Рудавська, Л.І. Демкевич. – К.: Київ.нац. торг.-екон. ун-т, 2003. – 409с.

Рецензія/Peer review : 21.8.2016 р.

Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

**ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНИХ ПЛІВОК, МОДИФІКОВАНИХ
ПОХІДНИМИ ЕКЗОПОЛІСАХАРИДІВ**

В статті розглянуто вплив препарату екзополіакриламід на фізико-механічні властивості та водостійкість полімерних плівок в ході розробки покривних композицій. Показано залежність міцності й еластичності індивідуальних і композиційних плівок від вмісту препарату в їх складі.

Ключові слова: екзополіакриламід, поліакрилат, поліуретан, фізико-механічні властивості, водостійкість.

O. KONDRATIUK, E. KASIAN
Kyiv National University of Technologies and Design

PROPERTIES OF POLYMER FILMS MODIFIED DERIVATIVES EXOPOLYSACCHARIDE

In the article the influence of a preparation exopolyacrylamide on physical and mechanical properties and water resistance of polymer films in the development of coating compositions. The dependence of the strength and elasticity of individual and composite films on the content of preparation in their composition.

Keywords: exopolyacrylamide, polyacrylate, polyurethane, physical and mechanical properties, water resistance.

Вступ

Захист лицьової поверхні шкіри від впливу зовнішнього середовища та надання їй гарного зовнішнього вигляду здійснюється за допомогою покривного фарбування. Його суть – утворення на поверхні шкіри полімерної плівки з покривних фарб, що наносяться у вигляді тонких шарів розчинів чи дисперсій. Кількість і склад цих шарів залежать не лише від характеру оздоблюваної поверхні, але й від матеріалів, що використовуються в кожному з шарів покриття. Покриття на шкірі мають відповідати цілому комплексу властивостей, продиктованих умовами експлуатації шкіряних виробів і технологією їх виробництва [1].

Зростаючі вимоги до споживчих властивостей шкіряних матеріалів різного цільового призначення потребують розробки нових технологій оздоблення і відповідно покриттів полімерної природи. На сьогодні в Україні існує обмежений асортимент вітчизняних оздоблювальних матеріалів для шкіряного виробництва, і попит на них останнім часом постійно зростає. У зв'язку з цим проблема створення і впровадження у виробництво нових оздоблювальних матеріалів на сьогодні має важливе значення [2].

Основним компонентом покривних фарб і, відповідно, головною складовою покриття на шкірі є полімерний плівкоутворювач. З усіх існуючих та застосовуваних для оздоблення шкіряного напівфабрикату плівкоутворювачів домінуючу роль відіграють акрилові й поліуретанові полімери та композиції на їх основі [3]. Акрилові дисперсії широко використовують для наповнювання і оздоблення шкіряного напівфабрикату вже декілька десятиріч. Це зумовлено широким спектром їх колоїдно-хімічних властивостей, відносно простою технологією виробництва та невисокою вартістю. Однак, у зв'язку з недостатньо високими фізико-механічними властивостями та морозостійкістю цих полімерів, постійно проводяться дослідження їх модифікацій низько- та високомолекулярними сполуками [4].

Перевагами оздоблення поліуретанами є їх висока механічна міцність, еластичність, термо- і морозостійкість, зносостійкість, легкість в експлуатації і догляді за виробами з шкіри та ін. Високі еластичні властивості поліуретанів у широкому діапазоні температур, хороша міцність, висока адгезія до різних волокнистих матеріалів, а також хороша плівкоутворювальна здатність дозволяють використовувати їх для оздоблення шкіри [5]. Останнім часом були створені та апробовані забарвлені поліуретанові плівкоутворювачі, що вміщують хімічно зв'язані азобарвники і дозволяють отримати на шкірах якісні покриття з високими експлуатаційними характеристиками, а також розширити існуючий асортимент оздоблювальних матеріалів [6].

На сьогодні актуальним є створення нових акрилоуретанових співполімерів та композицій для оздоблення шкір, які б володіли перевагами окремих складових, тобто формували покриття з високими, як у поліуретанів, фізико-механічними й термодинамічними характеристиками та забезпечували, як поліакрилати, хороші гігієнічні властивості покривних плівок [5].

Постановка завдання дослідження

Цікавою є модифікація акрилових і акрилоуретанових плівкоутворювачів шляхом їх структурування та взаємодії з поліфункціональними хімічними сполуками, що дозволить отримати нові плівкоутворювачі з необхідними технологічними характеристиками. Хімічна модифікація поліакрилатів і поліуретанів шляхом структурування, тобто введення в їх структуру певної кількості активних груп з утворенням нових зв'язків, дозволяє змінювати фізико-механічні властивості плівок, утворених з них [6].

Постійним інгредієнтом покривних фарб, особливо на основі поліакрилатів, є натуральний оздоблювальний матеріал казеїн, який забезпечує високу адгезійну здатність і спорідненість до колагену дерми, а також збереження гігієнічних властивостей шкіри. Збільшення частки казеїну в покривній фарбі на основі акрилових полімерів підвищує стійкість покриття до сухого і знижує до мокрого тертя. Заміна при

покривному фарбуванні цінного харчового продукту казеїну іншими близькими за природою матеріалами дозволить зберегти необхідні властивості шкір та здешевити готову продукцію. Цікавими у цьому плані є продукти екзополіакриламідів (ЕПАА) – похідні екзополісахаридів (ЕПС), отримані шляхом полімеризації акриламідів в присутності водних розчинів ЕПС [7].

Оскільки фізико-механічні й фізико-хімічні властивості покриття на шкірі безпосередньо впливають на експлуатаційні характеристики шкіряних виробів, то метою даної роботи є вивчення саме фізико-механічних показників, а також водостійкості плівок, отриманих з плівкоутворювачів різної природи з використанням похідних екзополісахаридів.

Об'єкти та методи дослідження

Для досягнення поставленої мети було визначено властивості препарату ЕПАА, основні показники плівкоутворювачів, а також вплив похідних екзополісахаридів на властивості полімерних плівок, отриманих з використанням досліджуваних матеріалів.

Дослідний препарат ЕПАА являє собою кополімер ксантанакриламідів (ТУ У 88-105-002-2000). Це продукт полімеризації акриламідів в присутності водних розчинів полісахариду, окиснювача, відновника та цільових добавок. Препарат відрізняється від інших поліакриламідів тим, що в якості полісахариду застосовано екзополісахарид бактеріального походження (ксантан). У реакційній суміші акриламід і полісахарид взято у відсотковому співвідношенні 4,0–7,2 : 0,1–1,0 відповідно [8].

До суттєвих переваг препарату належить його висока розчинність у холодній воді, стійкість до дії електролітів і висока клеюча здатність при доволі низькій в'язкості. Препарат екологічно чистий, без шкідливих домішок (табл. 1). У водних розчинах – це біолоїд, стабільний в широкому діапазоні температур, рН, концентрацій різноманітних солей, дії тиску та мікробної деструкції [9].

Ксантан – високомолекулярний полісахарид загальної формули $(C_{35}H_{49}O_{29})_n$, що виробляється під дією бактерій *xanthomonas campestris* в гідрокарбонатному середовищі з додаванням протеїну та неорганічного азоту. Молекулярна маса ксантану більше 20000; ксантан – білий або сірий порошок без запаху та смаку. Матеріал є природним згущувачем, придатним для стабілізації емульсій та дисперсій, а також багатоконпонентних систем [7].

Таблиця 1

Фізичні властивості препарату ЕПАА

Назва показника	Рівень показника
Зовнішній вигляд	В'язка рідина
Колір	Безбарвний чи блідо зелений
Запах	Слабкий специфічний
рН	8,5 – 9,0
Сухий залишок СЗ, %	5
Кінематична в'язкість, $m^2/s \times 10^{-6}$, не менше	2,2 – 3,0
Масова частка залишкових мономерів у розрахунку на 100% основної речовини, % не більше:	
- акриламід	0,5
- ненасичених сполук	2,5

Для створення покривних композицій використано акрилові й уретанові плівко утворювачі (табл. 2), що широко використовуються в оздобленні шкіряного напівфабрикату, мають хорошу плівкоутворювальну здатність та добре змішуються з іншими компонентами покривної фарби. Досліджувані полімерні плівки формували на тефлоновій підкладці за стандартною методикою [10]. Фізико-механічні дослідження одержаних плівок проводили на розривних машинах РМУ-5 та РМ-3 при швидкості нижнього затискача, відповідно, 50 та 100 мм/хв за методикою [11]. У якості показників досліджень полімерних плівок служили умовний модуль еластичності при 100 % видовженні і температурі 20 °С (σ_{100}), межа міцності при розтягуванні (σ_p), відносне видовження при розриві (ϵ_p). Водостійкість досліджуваних плівок характеризували показником набухання плівок у воді протягом 2 та 24 год та визначали його за методикою [12].

Таблиця 2

Властивості плівкоутворювачів

Назва матеріалу	Хімічна природа	СЗ, %	рН
Saracryl	Поліакрилат	37,1	5,7
Melio Promul	Поліакрилат	35,5	5,9
МБМ-3	Поліакрилат	33,0	5,5
Sarpur	Поліуретан	33,7	6,9
PUR2125	Поліуретан	28,2	7,9
PUR943	Поліуретан	28,8	7,5
СЗПУ-7 АТЗ	Поліуретан	32,2	6,2

Для визначення впливу препарату ЕПАА на властивості полімерних плівок з дослідних плівкоутворювачів приготовано покривні композиції, в яких витрати препарату ЕПАА варіювали в межах 3,0–20,0 % маси плівкоутворювача, у перерахунку на сухий залишок.

Результати та їх обговорення

Враховуючи існуючі вимоги до плівкоутворювачів [4] та очікувані зміни фізико-механічних властивостей полімерних плівок внаслідок їх модифікування препаратом ЕПАА, для подальшої модифікації слід обирати полімери з невисоким модулем еластичності, середньою міцністю та значним видовженням. На підставі аналізу дослідних показників міцності й еластичності вільних плівок (табл. 3), для модифікації обрано наступні плівкоутворювачі різної хімічної природи: поліакрилати SaracrylМБМ-3, та поліуретани Sarpur, PUR 943 іСЗПУ-7 АТЗ.

Таблиця 3

Фізико-механічні властивості вільних полімерних плівок

№ пп	Плівкоутворювач	Товщина плівки, мм	σ_{100} , МПа	σ_p , МПа	ϵ_p , %
1	Saracryl	0,24	0,51	4,23	1070
3	МБМ-3	0,19	0,18	2,45	1650
2	Melio Promul	0,21	4,39	10,56	560
4	Sarpur	0,18	1,37	5,92	640
5	PUR 2125	0,27	0,56	5,93	980
6	PUR 943	0,24	0,44	4,07	1340
7	СЗПУ-7 АТЗ	0,20	0,75	1,55	1050

В результаті їх модифікації отримано масив даних, що характеризує залежність впливу вмісту препарату ЕПАА в покривній композиції на фізико-механічні показники полімерних плівок (табл. 4). Як видно, для всіх досліджуваних полімерних матеріалів і композицій продукт ЕПАА зміцнює полімерні плівки, що виражається у поступовому зростанні їх межі міцності при розтягуванні, модуля еластичності і зменшенні їх видовження при розриві.

Таблиця 4

Фізико-механічні властивості модифікованих полімерних плівок

Плівкоутворювач	Показник	Вміст ЕПАА, %				
		0	3	5	10	20
Saracryl	σ_{100} , МПа	0,51	0,64	0,78	1,42	3,13
	σ_p , МПа	4,19	4,37	5,64	7,56	6,24
	ϵ_p , %	1070	910	755	660	455
МБМ-3	σ_{100} , МПа	0,18	0,29	0,35	0,68	2,56
	σ_p , МПа	2,45	2,75	3,16	5,31	5,12
	ϵ_p , %	1650	1320	1130	930	750
Sarpur	σ_{100} , МПа	1,37	2,42	3,07	3,88	6,69
	σ_p , МПа	5,87	6,18	7,03	11,53	13,02
	ϵ_p , %	640	450	440	410	270
PUR 943	σ_{100} , МПа	0,44	0,38	0,51	1,26	3,59
	σ_p , МПа	4,04	3,99	5,69	7,32	11,19
	ϵ_p , %	1345	1070	1010	805	540
СЗПУ-7 АТЗ	σ_{100} , МПа	0,73	1,02	1,33	2,28	3,33
	σ_p , МПа	1,5	1,86	3,01	4,78	4,26
	ϵ_p , %	1040	990	870	745	565

Найпомітніший ефект зміцнювання проявляється у поліуретанових композиціях, особливо при додаванні понад 10 % ЕПАА до плівкоутворювача Sarpur, плівки з якого мають найвищу твердість і міцність та найменшу тягучість. Відносно видовження при розриві плівок із Sarpur у присутності 20 % ЕПАА становить лише близько 270 %, що зовсім не відповідає вимогам покривного фарбування. Плівки, отримані з PUR 943, мають дещо нижчі показники міцності та більше видовження у порівнянні із Sarpur (понад 540 % при вмісті ЕПАА 20 %). Полімерний матеріал СЗПУ-7 АТЗ, структурно зафарбований аніонним темно-зеленим барвником, має властивості м'якого плівкоутворювача. Продукт ЕПАА істотно підвищує модуль еластичності полімерних плівок із СЗПУ-7 АТЗ, однак його міцність зростає лише до вмісту ЕПАА 10%, після чого спостерігається незначне зниження показника. Відносно видовження цих плівок вище, ніж у попередніх полімерів і його значення перебуває на межі допустимого для покривних полімерних матеріалів.

Використані для дослідження акрилові плівкоутворювачі Saracryl і МБМ-3 належать до м'яких

полімерів. Продукт ЕПАА, як у випадку з поліуретанами, також зміцнює акрилові полімерні плівки, причому характер залежностей їх фізико-механічних властивостей аналогічний зміні властивостей плівок із СЗПУ-7 АТЗ: помітне зростання модуля еластичності σ_{100} та зменшення міцності при розтягуванні σ_p у присутності понад 10 % ЕПАА, а також поступове зменшення видовження при розриві ϵ_p . Плівки з МБМ-3 мають найвищі значення відносного видовження при розриві, найменший модуль еластичності та міцність при розтягуванні, близьку до поліуретану СЗПУ-7 АТЗ.

Очевидно, що вплив продукту ЕПАА на модифіковані ним плівки більшою мірою залежить від твердості полімеру, і дещо менше від природи плівкоутворювача. Для визначення впливу ЕПАА на властивості композиційних акрилоуретанових плівок, враховуючи переваги полімерів різної хімічної природи, досліджено наступні полімерні композиції (у співвідношенні 1:1): Saracryl:Sarpur; МБМ-3:Sarpur; Saracryl:СЗПУ-7 АТЗ та МБМ-3:СЗПУ-7 АТЗ.

Результати досліджень (рис. 1) свідчать про істотний вплив твердості полімеру (тобто його модуля еластичності при 100% видовженні) на фізико-механічні властивості модифікованих композиційних плівок. Так, твердіші полімери Saracryl і Sarpur створюють плівки з вищими показниками міцності й еластичності та меншим видовженням у порівнянні з іншими трьома полімерними композиційними парами, у яких присутні більш м'які плівкоутворювачі МБМ-3 і СЗПУ-7 АТЗ.

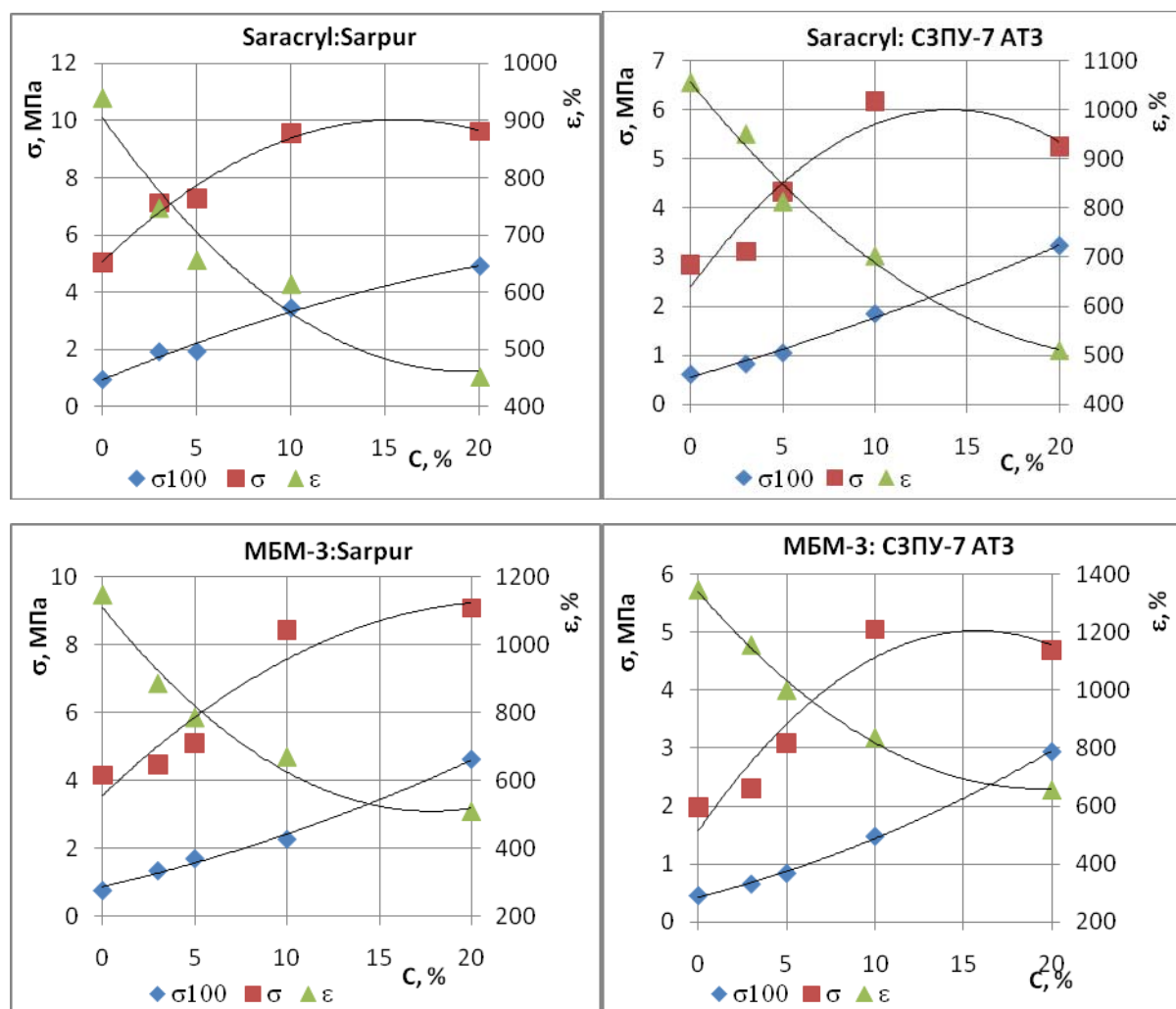


Рис. 1. Фізико-механічні властивості полімерних плівок

Так само, як і для індивідуальних полімерних матеріалів, препарат ЕПАА спричинює зміцнення усіх композиційних полімерних плівок. Особливо це характерно для плівок із плівкоутворювачем Sarpur, для яких міцність у присутності 20 % ЕПАА досягає 9,5-9,6 МПа, а відносне видовження при розриві знижується до 500-450 %. Натомість, наявність у композиції м'яких полімерів дозволяє сформувати плівки, міцність σ_p яких не перевищує 5 МПа, а видовження ϵ_p не зменшується нижче 600 %. Слід зазначити, що характер впливу ЕПАА на властивості усіх композиційних полімерних плівок майже аналогічний: міцність σ_p істотно зростає, а видовження ϵ_p помітно зменшується до досягнення вмісту ЕПАА 10 %, після чого вплив концентрації ЕПАА в полімері дещо зменшується і зміна показників уповільнюється.

Аналіз фізико-механічних властивостей індивідуальних і композиційних полімерних плівок, модифікованих препаратом ЕПАА, засвідчив, що всі досліджувані модифіковані композиційні матеріали

задовольняють вимогам покривного фарбування і можуть бути використані для формування покриття на шкірі, з урахуванням умов формування та комплексу властивостей покриття на шкірі, що диктуються умовами експлуатації шкіряних виробів і технологією їх виробництва.

Дослідження водостійкості індивідуальних та композиційних полімерних плівок показало, що гідрофільний препарат ЕПАА сприяє їх обводненню (рис. 2, 3). Плівки у воді не розчиняються, але воду поглинають та набухають у ній. Так, поліуретан Sarpur (рис. 2) у присутності ЕПАА інтенсивно набухає протягом перших годин, особливо при вмісті продукту в полімері понад 10 % внаслідок збільшення гідрофільності плівок завдяки гідрофільності самого препарату. У подальшому інтенсивність набухання знижується, і через 24 год спостерігається навіть незначне зменшення маси плівок, особливо, при збільшенні вмісту ЕПАА в полімері. Це може бути пов'язано з частковим вимиванням препарату ЕПАА з плівок.

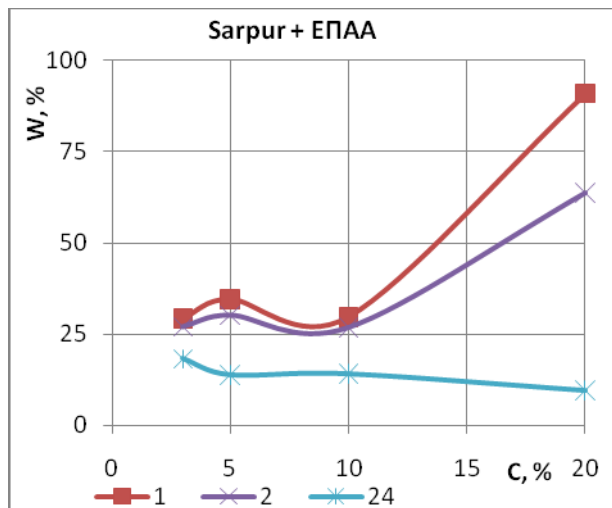


Рис. 2. Вплив вмісту ЕПАА на набухання полімерних плівок

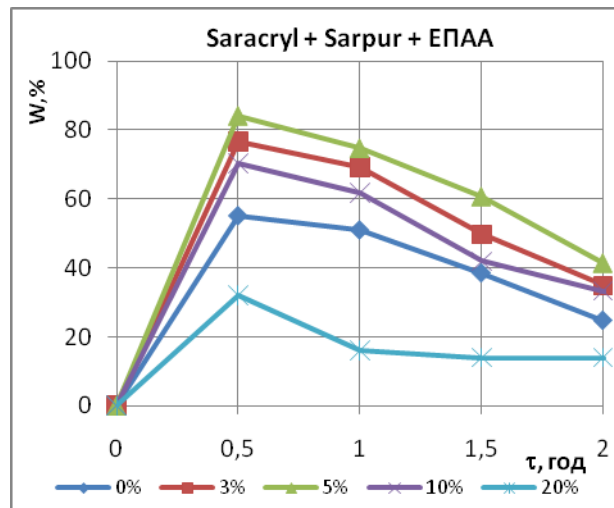


Рис. 3. Кінетика набухання композиційних плівок

Із збільшенням вмісту препарату ЕПАА у складі композиційних плівок Saracryl+Sarpur (рис. 3) набухання зростає протягом 0,5–1,0 год. обводнення, а далі дещо знижується, можливо, внаслідок перерозподілу емульгатора, присутнього в полімері, і частковій його міграції з плівок. Найбільше значення показника набухання проявляється для плівок з вмістом ЕПАА 3 і 5 %, а далі, при вмісті ЕПАА 10 і 20 %, обводнення полімеру зменшується. Слід зауважити, що при 20 % вмісті ЕПАА в полімері, ймовірно, відбувається часткове вимивання препарату з плівок, оскільки крива набухання цієї плівки міститься на діаграмі значно нижче, ніж крива набухання композиційної плівки без ЕПАА.

Отримані результати дають змогу рекомендувати до подальшого дослідження та використання в покривному фарбуванні композиційних плівок з вмістом препарату ЕПАА не більше 10 % маси полімеру. Також необхідно дослідити використання структуруючих агентів, здатних блокувати частину активних груп препарату та підвищити їх водостійкість.

Висновки

1. Досліджено можливість модифікації полімерних плівкоутворювачів різної хімічної природи кополімером екзополіакриламідом. Показано, що у всіх досліджуваних полімерних композиціях препарат ЕПАА зміцнює отримані полімерні плівки, що виражається у помітному зростанні їх межі міцності при розтягуванні, модуля еластичності і зменшенні видовження при розриві.

2. Вивчено індивідуальний вплив екзополіакриламіду на фізико-механічні властивості акрилових і уретанових полімерних матеріалів різної твердості. Визначено, що модифікуючий вплив препарату ЕПАА на оброблені ним плівки більшою мірою залежить від твердості полімеру.

3. Розглянуто вплив екзополіакриламіду на фізико-механічні властивості акрилоуретанових композиційних плівок. Визначено, що всі досліджувані модифіковані композиційні матеріали задовольняють вимогам покривного фарбування і можуть бути використані для формування покриття на шкірі з урахуванням комплексу експлуатаційних властивостей покриття на шкірі.

4. Досліджено водостійкість індивідуальних та композиційних полімерних плівок. Показано, що гідрофільний препарат екзополіакриламід сприяє істотному обводненню полімерних плівок. Для формування покриття на шкірі слід застосовувати композиційні полімерні плівки з вмістом препарату ЕПАА не більше 10 % маси полімеру.

5. З метою підвищення водостійкості покривних плівок, модифікованих екзополіакриламідом, необхідно дослідити використання структуруючих агентів, здатних блокувати частину активних груп препарату та утворювати додаткові хімічні чи фізико-хімічні зв'язки в полімері.

Література

1. Касьян Е. Є. Основи технології шкіри та хутра / Касьян Е. Є. – К. : КДУТД, 2001. – 252 с.
2. Касьян Е. Є. Дослідження властивостей модифікованих полімерних плівкоутворювачів для оздоблення шкір / Е. Є. Касьян, О. В. Ковтуненко // Вісник КНУТД. – 2007. – № 4. Спец. випуск. – С. 139–144.
3. Дубиновский М. З. Покрывное крашение кож / Дубиновский М. З. – М. : Легпромбытиздат, 1985. – 121 с.
4. Зурабян К. М. Отделка кож / К. М. Зурабян, Л. И. Байдакова. – М. : Легк. и пищ. пром-сть, 1984. – 184 с.
5. Касьян Е. Є. Технологія оздоблення шкір модифікованими акрилоуретановими композиціями / Е. Є. Касьян // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 3. – С. 207–211.
6. Інноваційні технології виробництва шкіряних і хутрових матеріалів та виробів : монографія / Данилкович А.Г., Грищенко І.М., Касьян Е.Є. та ін. / за ред. А.Г. Данилковича. – К. : Фенікс, 2012. – 344 с.
7. Микробный полисахарид ксантан / Гвоздяк Р. И., Матышевская М. С., Григорьев Е. Ф., Литвинчук О. А. ; отв. ред. Захарова И. Я. ; АН УССО. Ин-т микробиологии и вирусологии им. Д. К.Заболотного. – К. : Наукова думка, 1989. – 212 с.
8. Пат. 24856 Україна, МКИ: А С08F220/56. Спосіб одержання співполімеру поліакриламід (ЕПАА) / Є.М. Видющенко, С.К. Воцелко, Р.І. Гвоздяк, В.П. Гнідець, О.О. Литвинчук, Г.С. Сарібеков, В.А. Болоховська. – Опубл. 15.10.02, Бюл. № 10.
9. Гнідець В.П. Новий препарат ЕПАА на основі поліакриламід для процесів шліхтування та заключної обробки текстильних матеріалів / В.П. Гнідець, Г.С. Сарібеков, С.К. Воцелко, О.О. Литвинчук, Р.І. Гвоздяк // Проблеми легкої та текстильної промисловості України. – 2000. – № 4. – С. 122–124.
10. Данилкович А. Г. Практикум з хімії і технології шкіри та хутра / Данилкович А. Г. – К. : КДУТД, 1999. – 428 с.
11. Справочник кожевника: Отделка. Контроль производства / под ред. Н. А. Балберовой. – М. : Легпромбытиздат, 1987. – 256 с.
12. Головтеева А.А. Лабораторный практикум по химии и технологии кожи и меха / А.А. Головтеева, Д.А. Куциди, Л.Б. Санкин. – М. : Легпромбытиздат, 1984. – 312 с.

Рецензія/Peer review : 17.8.2016 р.

Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ КОЛАГЕНУ З ПОЛІМЕРНИМИ ТА ДУБИЛЬНИМИ СПОЛУКАМИ ТИТАНУ

Для встановлення механізму титанполімерного дублення проведено ІЧ-спектроскопічні дослідження препарату колагену, обробленого полімерними сполуками – похідними малеїнової та акрилових кислот і дубильними сполуками титану у вигляді сульфатотитанілату амонію. Визначено характер та зміну відносної оптичної густини смуг поглинання функціональних груп білка залежно від виду застосованих полімерів. Встановлено, що полімерна обробка сприяє взаємодії сполук титану з азотовмісними та гідроксильними групами колагену.

Ключові слова: колаген, полімерні сполуки, дубильні сполуки титану, ІЧ-спектроскопія, взаємодія.

A. V. NIKONOVA, O. A. ANDREYEVA, L. A. MAISTRENKO

Kyiv National University of Technologies and Design

INVESTIGATION OF THE INTERACTION OF COLLAGEN WITH POLYMERIC AND TITANIUM TANNING COMPOUNDS

The IR-spectroscopic investigation of collagen preparation treated by polymeric compounds, which are derivatives of maleic and acrylic acids in combination with titanium tanning compounds in the form of titan-ammonium double sulphate was carried out in order to establish the mechanism of titanium-polymeric tanning. The nature and changing of the relative optical absorption density of protein functional groups bands were established according to the type of polymers. The results of spectral analysis indicate that the polymeric treatment promotes interaction of titanium compounds with amine and hydroxyl groups of collagen.

Keywords: collagen, polymeric compounds, titanium tanning agents, IR-spectroscopy, interaction.

Вступ

Одним з найпоширеніших природних високомолекулярних сполук є волокнистий колаген – основна складова шкірного покриву тварин, що слугує об'єктом дослідження для фахівців різного профілю – біохіміків, медиків, технологів й застосовується під час виготовлення товарів широкого асортименту: медичних препаратів, косметичних засобів, харчових добавок, шкіряно-хутрових виробів тощо. Характер модифікації колагену шляхом обробки хімічними реагентами визначає специфіку його переробки та застосування [1, 2]. Тому виявлення механізму взаємодії в системі «колаген-хімічні речовини» має науково-практичне значення, оскільки дозволяє пояснити особливості формування структури та властивостей дерми, насамперед, під час процесу дублення, і є визначальною умовою в ході розробки сучасних технологій виробництва натуральної шкіри [3, 4].

Постановка завдання

На сьогоднішній день перспективними речовинами для ефективного виконання процесу мінерального дублення являються полімерні сполуки, які здатні взаємодіяти з колагеном та застосованими дубителями з утворенням зв'язків різного типу, що сприяє формуванню структури і споживчих властивостей шкіри [5–7]. Прикладом таких речовин можуть бути водорозчинні полімерні сполуки на основі ненасичених малеїнової та акрилової кислот, які завдяки наявності різноманітних груп та зв'язків добре суміщаються з колагеном і дубильними сполуками хрому, забезпечуючи тим самим високий ступінь відпрацювання робочих розчинів, термостійкість, міцність та пружно-пластичні властивості шкіри [8, 9]. Разом з тим, застосування зазначених полімерів розглядалось лише при дубленні шкір сполуками хрому. З огляду на актуальність розробки хромошадних, а також безхромових технологій шкіряного виробництва, за участю авторів досліджено застосування полімерних сполук на основі ненасичених карбонових кислот під час дублення сполуками титану як альтернативи сполукам хрому. В результаті встановлено скорочення тривалості обробки при досить високих показниках термостійкості та формування об'єму напівфабрикату титанполімерного дублення [10]. Проте, особливості взаємодії з колагеном полімерних і дубильних сполук титану не вивчалися, тому метою даної роботи було дослідити систему «колаген-полімер-титановий дубитель». Для здійснення цієї мети поставлено завдання встановити характер взаємодії колагену з полімерними сполуками на основі малеїнової та акрилової кислот і дубильними сполуками титану у вигляді сульфатотитанілату амонію за допомогою інфрачервоної спектроскопії як найбільш поширеного універсального методу інструментального аналізу [11].

Об'єкти та методи дослідження

З урахуванням складності структури колагену та наявності в ній супутніх речовин і домішок, за об'єкт дослідження обрано препарат колагену після обробки полімерними і дубильними сполуками титану; у якості предмету дослідження – характер взаємодії колагену, як вихідного, так і обробленого полімерними сполуками, з титановим дубителем. У якості моделі колагену використано волокнистий препарат колагену, отриманий за методикою ТОВ «ТОМІГ» (м. Миколаїв) з голинних відходів та непридатного для

виробництва шкір спилку шкір великої рогатої худоби.

Дослідні зразки обробляли на лабораторній установці для збовтування у такій послідовності: спочатку полімерними сполуками, потім титановим дубителем. Для цього використали: а) похідні малеїнової (продукт Кго, активність 21,5 %) та акрилової (продукти ТР і СР з активністю відповідно 13,5 і 32,5 %) кислот – нетоксичні, водорозчинні й стійкі до дії електролітів реагенти; б) сульфатотитанілат амонію (СТА) з активністю 22,4 % (у перерахунку на оксид титану). Параметри обробки: рідинний коефіцієнт – 50, температура – 20 °С, тривалість – 1,5 год, витрата матеріалів – 5,0 % (від маси зразків, у перерахунку на сухий залишок полімеру та оксид титану). Контрольні зразки обробляли лише дубителем СТА.

У подальшому всі досліджувані зразки сушили, подрібнювали, спресовували у таблетки з бромідом калію й направляли на ІЧ-спектроскопічний аналіз, який проводили на спектрофотометрі TENSOR-37 (фірма "BRUCER", Німеччина). Одержані спектрограми пропускання в діапазоні 400–4000 cm^{-1} обробляли за методами «базової лінії» та «внутрішнього стандарту» [12, 13]. За внутрішній стандарт обрали смуги при частотах 2940–2920 та 1340–1330 cm^{-1} , що відповідають валентним (ν) і деформаційним (δ) коливанням груп -СН та -СН₂, оскільки зміна оптичної густини в зазначеному діапазоні несуттєва. Ідентифікацію досліджуваних об'єктів виконували на підставі чисельних робіт в області інфрачервоної спектроскопії [14–16]. Найбільш характерні частоти смуг поглинання на ІЧ-спектрограмі вихідного препарату колагену наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні частоти найважливіших смуг поглинання на ІЧ-спектрограмі вихідного препарату колагену

Частота, cm^{-1}	Тип сполуки, група	Частота, cm^{-1}	Тип сполуки, група
3330–3400	Амід А (νNH), Іміни ($\nu\text{C}=\text{N}$), що перекриваються між- та внутрішньомолекулярними водневими зв'язками бічних ланцюгів (νOH)	1330–1345	Алкани (δCH_3)
3070–3085	Амід В (100 % νNH)	1230–1245	Амід ІІІ (10 % νCO , 30 % νCN , 30 % δNH , 10 % $\text{CN}=\text{O}$), Аміни (νCN), Спирти ($\delta\text{C}=\text{O}$, $\nu\text{C}=\text{O}$)
2920–2930	Алкани (νCH_2), Алкени (νCH)	1200–1230	Спирти втор., трет. ($\nu\text{C}=\text{O}$), Дикарбонові кислоти (COC)
1640–1665	Амід І (80 % νCO , 10 % νCN , 10 % δNH), Карбонільні сполуки ($\nu\text{C}=\text{O}$)	1160–1200	Спирти втор., трет. ($\nu\text{C}=\text{O}$)
1530–1550	Амід ІІ (40 % νCN , 60 % δNH), Карбонові кислоти (COO^-)	1080–1095	Карбоновий кістяк (C-C) Спирти перв. ($\nu\text{C}=\text{O}$)
~1444	Алкани (δCH_3), Спирти (δOH), Алкени (δCH)	~675	Транс- та цис-алкени (δCH), Спирти (δOH , зв'язані)

Результати дослідження, їх обговорення

Із загального аналізу одержаних спектрограм (рис. 1) випливають такі закономірності: 1) наявність сильної широкої смуги поглинання в області частот 3200–3600 cm^{-1} , що пояснюється утворенням міжмолекулярного водневого зв'язку аміних та гідроксильних груп; 2) зменшення інтенсивності смуг поглинання при частотах 3082–3348, 1538–1545, 1231 cm^{-1} , що відповідають коливанням Амідів А, В, ІІ, ІІІ.

Більш поглиблений аналіз спектрограм зразків препарату колагену в результаті обробки полімерними і дубильними сполуками титану виявляє чіткі зміни характеру та оптичної густини окремих смуг поглинання.

Зміну показника відносної оптичної густини Z визначали відношенням відносної оптичної густини вихідного препарату колагену Di/Dc (K) до відносної оптичної густини цього препарату після обробки дубильними сполуками титану Di/Dc ($K+\text{СТА}$), а також до відносної оптичної густини препарату після обробки полімерними сполуками і дубителем Di/Dc ($K+\text{П}+\text{СТА}$) (табл. 2). Зменшення інтенсивності смуг поглинання модифікованих зразків, зумовлене взаємодією в системі «колаген-хімічні речовини», відповідає збільшенню величини показника Z ($Z-1,0$). Збільшення інтенсивності смуг поглинання, що виникає через присутність функціональних угруповань (зв'язків) застосованих реагентів, відповідає зменшенню цього показника ($Z-1,0$).

Обробка колагенового препарату одним дубителем СТА призводить до зменшення інтенсивності смуг поглинання при частотах 3390, 1647, 1534 cm^{-1} , які відповідають коливанням азотовмісних пептидних груп (Аміди А, І, ІІ), вторинних і третинних амінів, а також водневих зв'язків карбонільних сполук. Карбоксильні групи колагеном не приймають участі у взаємодії з титановими комплексами, що повною

мірою відповідає сучасним уявленням про механізм процесу дублення сполуками титану [17].

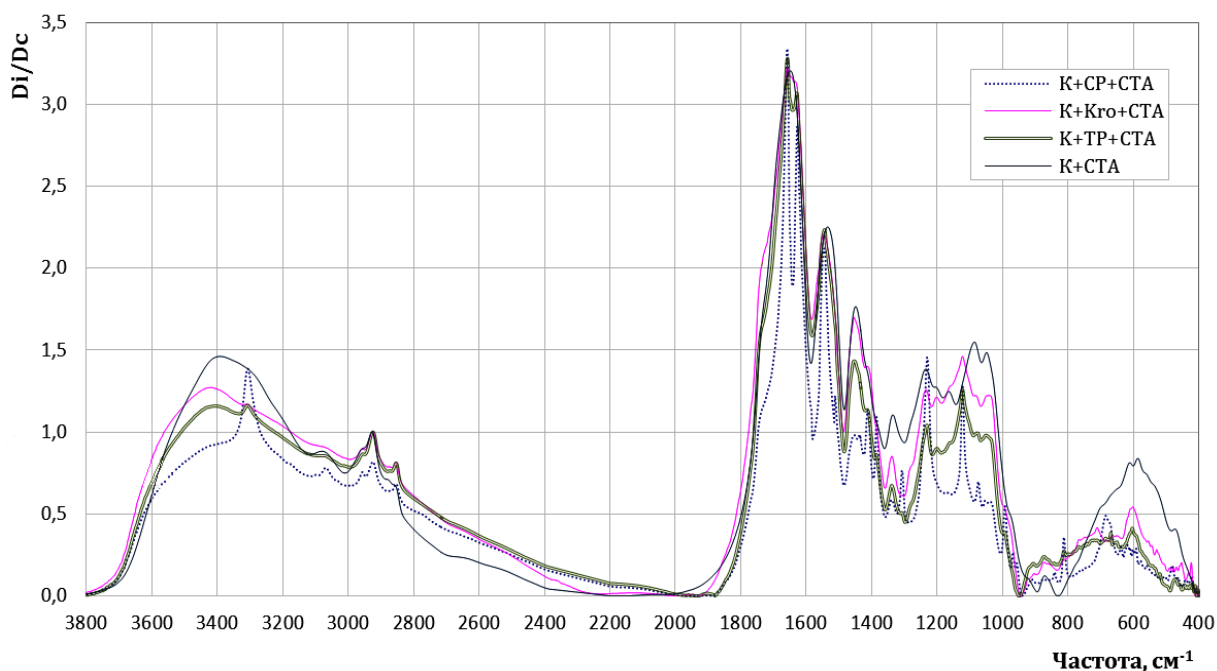


Рис. 1. ІЧ-спектрограми препарату колагену після обробки полімерними та дубильними сполуками титану

Таблиця 2

Зміна відносної оптичної густини на ІЧ-спектрограмах препарату колагену після обробки полімерними та дубильними сполуками титану

Частота, см ⁻¹	Тип сполуки, група	Зміна відносної оптичної густини Z			
		K+CTA	K+CP+CTA	K+TP+CTA	K+Kro+CTA
3307-3423	Амід А (νNH) Іміни (νCN), між- та внутрішньо-молекулярні водневі зв'язки бічних ланцюгів (νOH)	1,339	1,697	0,401	2,036
3076-3080	Амід В (100 % νNH), Димери кислот (νOH), Алкени	0,899	1,496	—	—
2920-2930	Алкани (νCH ₂), Алкени (νCH)	1,000	1,000	1,000	1,000
1627-1657	Амід І (80 % νCO, 10 % νCN, 10 % δNH); Карбонільні сполуки (νC=O)	1,376	0,582	0,378	0,541
1533-1544	Амід ІІ (40 % νCN, 60 % δNH), Карбонові кислоти (COO ⁻)	1,000	1,222	1,029	0,733
1440-1450	Алкани (δCH ₃), Спирти (δOH), Алкени заміщені (δCH)	0,978	0,301	0,908	0,737
1330-1345	Алкани (δCH ₃)	1,000	1,000	1,000	1,000
1230-1245	Амід ІІІ (10 % νCO, 30 % νCN, 30 % δNH, 10 % CN=O), Аміни (νCN), Спирти (δC=O, νC=O)	0,918	0,708	1,071	1,087
1160-1230	Спирти втор., трет. (νC=O), Дикарбонові кислоти (νCOC)	0,809	1,570	1,525	1,334
1030-1122	Карбоновий кістяк (C-C), Спирти перв., втор., трет. (νC=O)	0,528	1,524	0,723	0,599
665-992	Металалкани (CH ₃), Спирти (δOH, зв'язані)	1,159	1,635	1,348	—
586-600	Сульфатотитанілати (незв'язані)	0,833	1,922	0,840	0,830

У всіх випадках попередня обробка зразків полімерними сполуками послаблює взаємодію титанового дубителя з азотовмісними групами Аміду I при частоті 1656 см^{-1} . Разом з тим, полімерні сполуки посилюють взаємодію дубителя з азотовмісними групами Амідів інших типів: продукти Kго та CP – у випадку Аміду A при частотах 3423 та 3307 см^{-1} відповідно, продукти CP та TP – Аміду II при частоті 1544 см^{-1} , продукт CP – Аміду B при 3069 см^{-1} , продукти TP та Kго – Аміду III при 1337 см^{-1} . Ці зміни можуть вказувати не лише на взаємодію між гідроксильними і карбоксильними групами полімерів з амініними, пептидними та гідроксильними групами колагену, а й на перерозподіл зв'язків між колагеном, титановим дубителем та полімерними сполуками.

Розщеплення смуги поглинання в області 1656 см^{-1} з утворенням нового піку при більш низькій частоті (1627 см^{-1}) може свідчити про розклинюючу дію полімерів на структуру колагену, що призводить до розриву між- та внутрішньомолекулярних водневих зв'язків між пептидними групами і титановими комплексами. При цьому не виключена можливість участі у взаємодії із застосованими реагентами карбоксильних груп (частоти 1544 , 1230 см^{-1}) та гідроксильних груп колагену при високих частотах (1231 , 1071 см^{-1}) за рахунок водневих зв'язків, що можуть утворюватися у внутрішній сфері титанових комплексів. В області низьких частот 1221 , 1163 , 1122 та 1035 см^{-1} після обробки полімерами має місце збільшення інтенсивності смуг поглинання, які відповідають валентним коливанням СО-груп спиртів. У разі застосування одного з акрилатів (продукт CP) інтенсивність смуги при 1035 см^{-1} збільшується, ймовірно, внаслідок присутності ненасичених зв'язків.

Суттєве зменшення інтенсивності смуг на спектрограмах препарату колагену після полімерної обробки при частотах 2853 , 1441 , 1307 , 992 , 875 см^{-1} є проявом валентних та деформаційних коливань алканів, ненасичених зв'язків транс- і цис-алкенів в структурі полімерів, коливань зв'язків $-\text{CH}_2-$ груп колагену, а при 418 , 422 , 452 , 519 см^{-1} – титанполімерних комплексів.

Одержані дані корелюють з результатами дослідження процесів дифузії та взаємодії дубильних сполук титану в драглях желатину, згідно з якими застосування полімерів – похідних малеїнової та акрилової кислот – позитивно впливає на швидкість проникнення та фіксацію сульфатотитанілату амонію в драглі желатину, що виявляється у підвищенні коефіцієнту дифузії на $9\text{--}38\%$, а температури плавлення на $4\text{--}6^\circ\text{C}$.

Висновки

Для встановлення механізму титанполімерного дублення вивчали взаємодію колагену з полімерами і дубильними сполуками титану. З цією метою провели ІЧ-спектроскопічні дослідження препарату колагену з недублених відходів шкіряного виробництва, для обробки якого використали похідні малеїнової і акрилової кислот, а також сульфатотитанілат амонію.

На підставі аналізу одержаних спектрограм встановили вплив полімерних сполук на характер взаємодії колагену з дубильними сполуками титану, що виявляється у зміні інтенсивності смуг поглинання в областях спектру, які відповідають частотам коливань азотовмісних та гідроксильних груп білка. Результати роботи не суперечать раніше одержаним даним й дозволяють пояснити покращення показників термостійкості та об'ємного виходу шкіряного напівфабрикату титанполімерного дублення порівняно з відомими технологіями особливим характером формування структури дерми внаслідок утворення зв'язків різного типу (колаген – полімер, колаген – полімер – колаген, колаген – полімер – титановий дубитель, колаген – полімер – титановий дубитель – колаген тощо).

Література

1. Михайлов А. Н. Химия и физика коллагена кожного покрова / Михайлов А. Н. – М. : Легк. индустрия, 1980. – 232 с.
2. Shoulders M. D. Collagen structure and stability / M. D. Shoulders, R. T. Raines // Annual Review of Biochemistry. – 2009. – No 78. – P. 929–958.
3. Основи створення сучасних технологій виробництва шкіри та хутра : монографія / [А. А. Горбачов, С. М. Кернер, О. А. Андреева, О. Д. Орлова]. – К. : КНУТД, 2007. – 190 с.
4. Інноваційні технології виробництва шкіряних і хутрових матеріалів та виробів : монографія / за ред. А. Г. Данилковича. – К. : Фенікс, 2012. – 344 с.
5. Сысоев В. А. Повышение эффективности хромового дубления при использовании продуктов модификации циклокарбонатов / В. А. Сысоев, И. Ш. Абдуллин, А. Р. Гарифуллин и др. // Кожев.-обувная пром-сть. – 2009 – № 3. – С. 16–17.
6. Combination tanning system based on dialdehyde olginic acid : an ecofriendly organic approach / G. C. Jayakumar, L. S. Bala [and others] // JALCA. – 2011. – Vol. 106, № 2. – P. 50–58.
7. Using of Hyperbranched Poly(amidoamine) as Pretanning Agent for Leather / Amal Amin Ibrahim, Moshera S. A. Youssef, El-Shahat H. A. Nashy, and Mohamed M. Eissa // International Journal of Polymer Science. – 2013. – P. 1–8. – URL : <http://dx.doi.org/10.1155/2013/120656>
8. Майстренко Л. А. Производство одежной кожи из овчины с применением полимерного материала / Л. А. Майстренко, О. А. Андреева // Кожа и мех в XXI веке: технология, качество, экология, образование : материалы XI Международной научно-практической конференции. – Улан-Удэ : Изд-во ВСГУТУ, 2015. – С. 20–

25.

9. Nikonova A. Application of advanced polymeric compounds for development of leather production / A. Nikonova, O. Andreyeva, L. Maistrenko // IOP Conf. Series: Materials and engineering. – 2016. – 111 (1). – P. 1–6. – URL : <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/111/1/012024?fromSearchPage=true>
10. Ніконова А. В. Дослідження процесу дублення сполуками титану в присутності полімерів / А. В. Ніконова, О. А. Андрєєва, Л. А. Майстренко // Вісник ХНУ. – 2015. – № 4. – С. 93–97.
11. Гармаш А. В. Введение в спектроскопические методы анализа. Оптические методы анализа / А. В. Гармаш. – М. : Высший химический колледж, 1995. – 39 с.
12. Миронов В. А. Спектроскопия в органической химии / В. А. Миронов, С. А. Янковский. – М. : Химия, 1985. – 232 с.
13. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул / Л. Беллами. – М. : Изд-во иностр. литературы, 1963. – 592 с.
14. Накамото К. ИК спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений / К. Накамото. – М. : Изд-во Мир, 1991. – 269 с.
15. Годнева М. М. Химия подгруппы титана : сульфаты, фториды, фторосульфаты из водных сред / М. М. Годнева, Д. Л. Мотов. – М. : Наука, 2006. – 302 с.
16. Тарасевич Б. Н. ИК спектры основных классов органических соединений : [справочные материалы] / Б. Н. Тарасевич. – М. : МГУ, 2012. – 55 с.
17. Метелкин А. И. Титановое дубление / А. И. Метелкин, Н. Т. Русакова. – М. : Легк. индустрия, 1980. – 152 с.

Рецензія/Peer review : 28.7.2016 р.

Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.

Рецензент: проф. О. М. Савчук

РАСИ ДРІЖДЖІВ ДЛЯ ВИСОКОГУСТИННОГО ПИВОВАРІННЯ

Досліджено технологічні властивості пивних дріжджів низового бродіння рас Saflager S-23 і Saflager W-34/70 та верхового бродіння рас Safbrew T-58 і Safbrew S-33 в умовах високогустинного пивоваріння.

Ключові слова: раси пивних дріжджів, високогустинне пивоваріння.

T.V. KHARANDIUK, R.B. KOSIV, N.I. BEREZOVSKA, L.IA. PALIANYTSIA

National University «Lviv Polytechnic»

YEAST STRAINS FOR HIGH GRAVITY BREWING

In the article the technological properties of lager brewer's yeast strains Saflager S-23 and Saflager W-34/70 and ale strains Safbrew T-58 and Safbrew S-33 in the high gravity fermentation of beer wort in the range of its concentration 15-18% dry matter were reviewed. Yeast strain Safbrew T-58 have a top fermentation rate throughout the investigated range of wort concentrations. Fermentative activities of yeast strains Saflager W-34/70 and Saflager S-23 have similar values. Yeast strain Safbrew S-33 had high fermentation rate at the start of fermentation (up to 5 days), but it is further reduced. Samples of young beer, obtained from the worts with studied concentration involving yeast strains Saflager S-23, Saflager W-34/70, Safbrew T-58, are characterized by sufficient degree of fermentation, high alcohol content, normal pH and acidity. Saflager W-34/70 strain characterized by lowest content of vicinal diketones in young beer obtained throughout the range of concentrations wort. Thus, for high gravity fermentation of beer wort with concentration of 15-18% w/w yeast lager strains Saflager S-23 and Saflager W-34/70 and ale strain Safbrew T-58 can be used, which have a high fermentation rate and reasonable degree of fermentation, and also this strains allow to get a beer with relevant physical-chemical parameters. Yeast race Saflager W-34/70 is the most effective under high gravity brewing conditions.

Keywords: brewer's yeast strains, high gravity brewing.

Вступ

Технологія високогустинного пивоваріння була запропонована з метою збільшення потужності виробництва. За цією технологією варять густе сусло з більшою екстрактивністю і розбавляють його водою до бажаної концентрації сухих речовин перед або після бродіння, як правило перед фільтруванням. В обох випадках досягають економії енергії, бо з однакової кількості сусла одержують в кінцевому результаті більшу кількість пива. Зброджування густішого сусла, як і дозрівання, не повинно тривати довше, як звичайно.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сучасна технологія приготування пива полягає в використанні інтенсивних способів ведення головного бродіння за умови збереження якості готового продукту. В практиці пивоваріння існує багато способів інтенсифікації зброджування пивного сусла. Більшість із них висувають особливі вимоги до пивних дріжджів. Використання високоактивних рас пивних дріжджів, збільшення норми їх внесення, підтримання особливих температурних режимів дозволяє одержати готовий напій високої якості за коротший термін.

Спиртове бродіння сахаридів сусла відбувається під дією ферментів дріжджів і є важливою стадією у виробництві пива. Тому важко переоцінити роль дріжджів у пивоварінні. Саме від них залежить кількість утвореного спирту та формування специфічного неповторного смакового букету, властивого якісному пиву.

У пивоварінні використовують два типи зброджування пивного сусла: верхове або тепле при температурі 15–25°C і низове або холодне при температурі 4–12°C. Використовувані при цьому дріжджі називають відповідно дріжджами верхового і низового бродіння, які відрізняються за своїми властивостями. Дріжджі верхового бродіння під час інтенсивного процесу піднімаються наверх, здатні утворювати спори і зброджують трисахарид рафінозу на одну третину. У дріжджів низового бродіння здатність до утворення спор менш виразна, вони здатні повністю зброджувати рафінозу та до кінця бродіння осідають на дно.

Вибір дріжджів відіграє важливу роль, оскільки швидкість і ступінь зброджування, кислотоутворююча здатність, відмінності в утворенні побічних продуктів бродіння впливають на органолептичні властивості пива. При виборі раси дріжджів керуються низкою критеріїв, зокрема ступенем зброджування сусла та швидкістю бродіння, швидкістю розмноження, утворенням побічних продуктів бродіння, здатністю утворювати пластівці.

Відома велика кількість рас пивних дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*. Розробка нових рас і збереження перевірених культур дозволяє не тільки зберегти перевірени пивоварні традиції і смакові якості на великих виробництвах, а й створювати нові, експериментальні сорти пива на міні-пивоварнях. У світі існує кілька колекцій пивоварних дріжджів, найбільш відомими з яких є UK National Collection of Yeast Cultures (NCYC), VTT Biotechnology, Hefebank Weihenstephan, Cara Technology. В Україні продуценти пива зберігаються, зокрема, в колекції штамів мікроорганізмів та ліній рослин для харчової та сільськогосподарської біотехнології, створеної в ДУ «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України» [1].

Відомо, що неможливо рекомендувати якусь одну расу дріжджів для використання на всіх пивоварнях. Необхідно підібрати дріжджі, які ідеально підходять до умов конкретного виробництва. Зокрема, для зброджування пивного сусла сумішним способом рекомендовано використовувати дріжджі рас 11 і F-Чеська [2]. В умовах міні-пивоварні якісніше пиво отримували за участю Датської та Німецької рас дріжджів [3, 4].

Деякі пивоварні підприємства пробують сумістити використання декількох рас одночасно з метою

підсилення позитивних властивостей кожної раси. Ряд дослідників вважають [5], що якщо різні раси змішувати під час головного бродиння, то, маючи відмінну швидкість розмноження, з часом вони витіснять одна одну. Дослідження по використанню багатштамових комбінацій дріжджів рас 11, 34, 308, 463 і 8(a)M для зброджування пивного сусла концентрацією 11% сухих речовин (СР) показали, що багатштамові комбінації переважали одноштамовий зразок за бродильною активністю, швидкістю бродиння, приростом біомаси клітин. За всіма показниками кращі результати досягнуто при одночасному використанні рас 8(a)M і 308 [6].

У міру поглиблення знань про властивості дріжджів та якості, які вони надають кінцевому продукту, все успішніше просувається робота по створенню нових рас пивних дріжджів. Раніше в основному здійснювали відбір більш активних дріжджів серед існуючих рас. Проводити гібридизацію було не вигідно, зокрема через малу здатність пивних дріжджів до спороутворення і низьку життєздатність аскоспор. Проте з часом основним внеском біотехнології в пивоварну промисловість буде створення рас дріжджів, здатних давати пиво з бажаними властивостями. Зокрема, з метою створення рас пивних дріжджів, які володіють глюкоамілазною активністю, здійснено перенесення STA генів із дріжджів *S. diastaticus* в генотип виробничих дріжджів [7].

Впровадження у виробництво технології високогустинного пивоваріння потребує використання дріжджів із термостійкими, осмо- та спиротолерантними властивостями. При зброджуванні густого сусла за участю дріжджів рас Oettinger Pils та W-34/70 кращих результатів досягнуто при використанні раси W-34/70 [8].

Зброджування сусел концентрацією 14, 21 і 24% мас. з додаванням мальтозного чи глюкозного сиропів проводили за участю дріжджів раси Weiherstephan 34/70 [9], зброджування сусла концентрацією 20% мас. з додаванням мальтозного сиропу та без нього – за участю дріжджів *Saccharomyces pastorianus* низового бродиння раси FBY0095 [10], бродиння сусел концентрацією 22, 24, 28 і 30% мас. – за участю дріжджів низового бродиння *Saccharomyces cerevisiae* var. *uvarum* раси W 96 [11]. При підвищенні концентрації сусла спостерігали зниження бродильної активності, подовження лаг-фази, зниження питомої швидкості росту, ступеня асиміляції цукрів, життєздатності, флокуляції та підвищення вмісту побічних продуктів бродиння.

З метою покращення технологічних властивостей проводили мутацію дріжджів *Saccharomyces pastorianus* раси FBY0095 [12]. Серед отриманих варіантів селекціонували найбільш ефективні для зброджування високогустинного пивного сусла з концентрацією мальтози 15% та при вмісті в суслі 15% етанолу. В результаті отримали два зразки, які володіли вищими питомими швидкостями росту, асиміляцією цукрів сусла та нагромаджували більший вміст етанолу, отримане пиво мало кращі органолептичні властивості.

Вивчено вплив температури, концентрації сусла та етанолу на бродильну активність пивних дріжджів низового бродиння рас Brewferm Lager, Saflager S-23, Saflager W-34/70 та дріжджів верхового бродиння рас Craft series M27, Saftbrew F2, Saftbrew S-33, Saftbrew T-58 [13, 14]. Досліджено динаміку головного бродиння 16-відсоткового сусла за участю досліджуваних дріжджів і фізико-хімічні показники отриманого молодого пива. Встановлено, що дріжджі низового бродиння рас Saflager S-23 та Saflager W-34/70 і верхового бродиння рас Saftbrew T-58 та Saftbrew S-33 володіють високими осмо-, спирто- та термостійкістю, бродильною активністю, ступенем зброджування та здатністю до редукції дікетонів [15]. Проте, актуальним залишається пошук ефективних способів селекції та адаптації дріжджів до підвищених концентрацій виробничих субстратів. Тому метою роботи було дослідження технологічних властивостей пивних дріжджів низового бродиння рас Saflager S-23 і Saflager W-34/70 та верхового бродиння рас Saftbrew T-58 і Saftbrew S-33 при зброджуванні високогустинного пивного сусла в діапазоні його концентрацій 15–18% СР.

Матеріали і методи

Дріжджі культивували глибинним періодичним способом в пивному неохмеленому стерильному суслі з концентрацією сухих речовин (СР) 10% у три етапи: 1-й етап – в пробірку додавали 10 см³ сусла та засівали чисту культуру дріжджів зі скошеного солодового агару, 2-й етап – в колбу ємністю 0,1 дм³ додавали 50 см³ сусла та засівали дріжджі з попередньої стадії, 3 етап – в колбу ємністю 0,3 дм³ додавали 200 см³ сусла та дріжджі з попередньої стадії. Культивування проводили при температурі 25 °С тривалістю 24 год. на кожній стадії. Нагромаджені дріжджі осаджували центрифугуванням протягом 10 хв. при частоті обертів 4000 хв⁻¹. Зброджування охмеленого сусла об'ємом 0,2 дм³ концентрацією 15, 16, 17, 18 % СР проводили за участю досліджуваних рас дріжджів протягом 9 діб. Для адекватного порівняння динаміки процесу за участю дріжджів низового та верхового бродиння обрано температуру 15°C, при якій активні обидві групи дріжджів. Процес зброджування сусла контролювали за масою виділеного вуглекислого газу. У молодому пиві визначали рН, кислотність, ступінь зброджування, вміст екстракту, етанолу та віцинальних дікетонів [16].

Виклад основного матеріалу дослідження

Одним із способів селекції дріжджів для їх подальшого використання у високогустинному пивоварінні є зброджування субстратів з високим вмістом сухих речовин. Порівняння динаміки головного бродиння висококонцентрованих сусел концентрацією 15–18% СР за участю дріжджів рас Saflager S-23, Saflager W-34/70, Saftbrew T-58 і Saftbrew S-33 показує, що вищою швидкістю зброджування володіють дріжджі раси Saftbrew T-58 в усьому дослідженому діапазоні концентрацій сусла (рис. 1).

Бродильна активність дріжджів – важлива технологічна властивість, оскільки визначає тривалість головного бродиння, фізико-хімічні показники пива, його біологічну стійкість. Бродильну активність дріжджів оцінюють за швидкістю споживання цукрів, кількості CO₂, який виділяється при цьому, і ступенем зброджування сусла. Дріжджі верхового бродиння штамів Saftbrew T-58 і Saftbrew S-33 мають вищу бродильну активність, ніж дріжджі низового бродиння. Бродильна активність усіх штамів є максимальною

при концентрації суслу 16% СР. Раси низового бродиння Saflager W-34/70 і Saflager S-23 показали близькі значення бродильної активності (рис. 2).

Дріжджі раси Safbrew S-33 мають високу бродильну активність на початку процесу (до 5 діб), проте надалі вона знижується, і, як наслідок, в результаті бродиння сусел усіх досліджуваних концентрацій виділяється найменша кількість діоксиду карбону порівняно з іншими расами дріжджів. Така технологічна поведінка дріжджів може бути пов'язана зі зброджуванням трисахариду рафінози лише на одну третину та зниженням життєздатності дріжджових клітин під впливом підвищеного осмотичного тиску середовища та підвищеної концентрації етанолу.

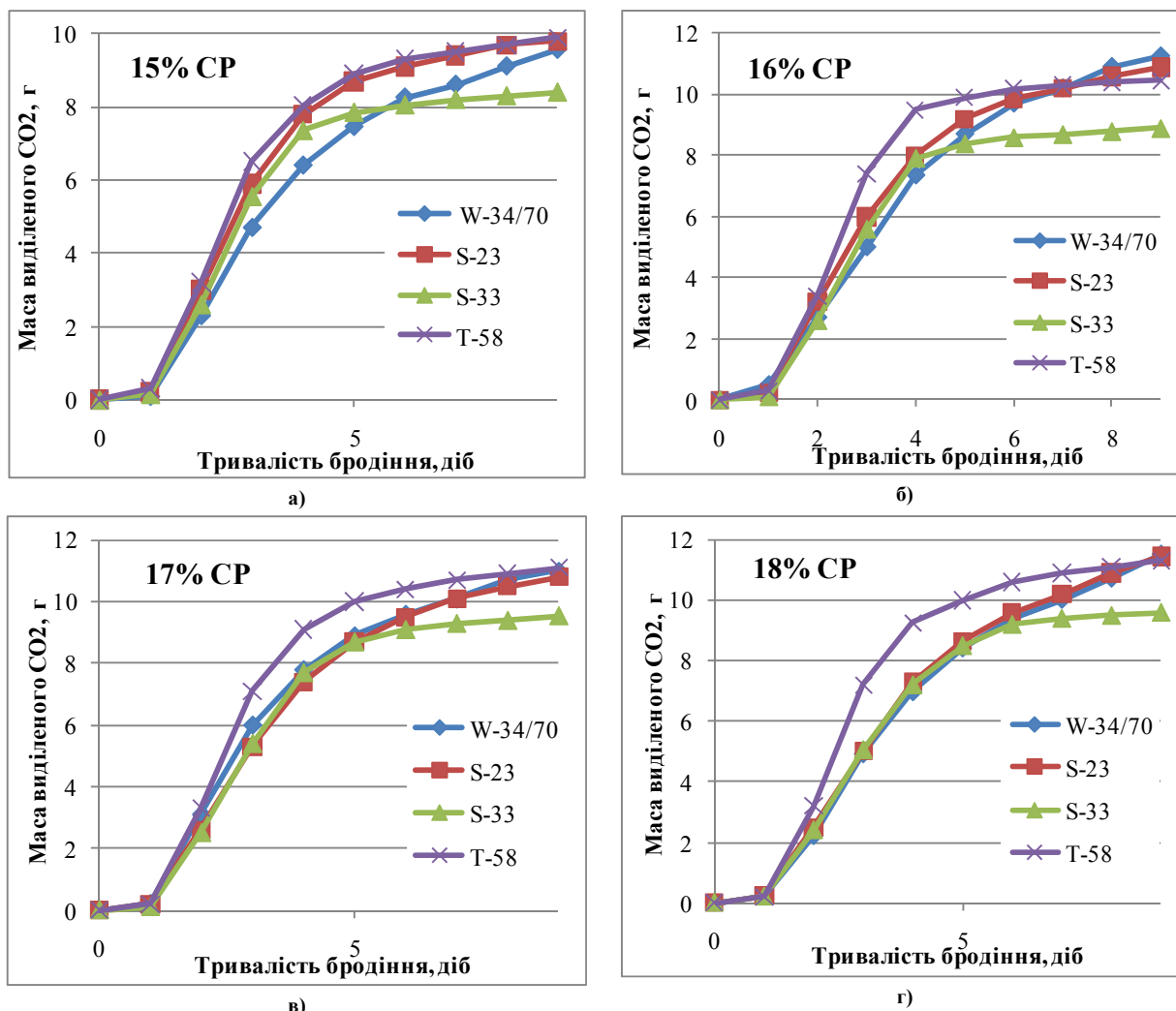


Рис. 1. Динаміка бродиння сусел з вмістом сухих речовин: а) 15%, б) 16%, в) 17%, г) 18%, за участю дріжджів різних рас

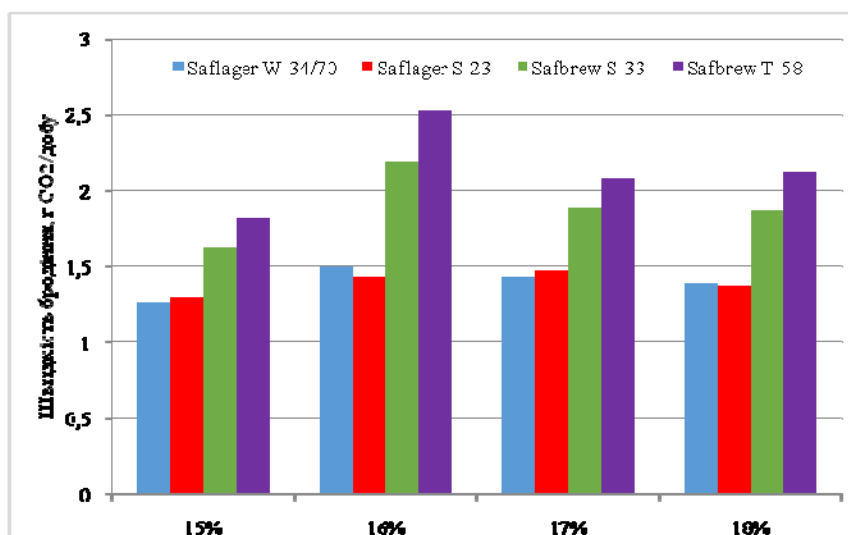


Рис. 2. Швидкість бродиння сусел концентрацією 15–18% сухих речовин за участю дріжджів різних рас

В технології пивоваріння важливе значення має якість одержуваного продукту, тому досліджували фізико-хімічні показники молодого пива, отриманого при збродженні високогустинних сусел за участю різних рас дріжджів (табл. 1, 2). Зразки молодого пива, отриманого за участю дріжджів рас Saflager S-23, Saflager W-34/70, Saftbrew T-58, містять 5,11–6,56% мас. дійсного екстракту. Для цих зразків характерні ступені збродження від 64,74 до 67,63%. Дріжджі раси S-33 зброджують вуглеводи сусла з недостатнім ступенем – від 54,72 до 59,15%, тому вміст екстракту в молодому пиві перевищує нормальні значення цього показника.

Вміст етанолу в усіх зразках молодого пива відповідає вимогам стандарту, зокрема зразки пива, отриманого з 15-відсоткового сусла, містять не менше 3,8% мас., із 16%-го сусла – не менше 4,2% мас., із 17%-го сусла – не менше 4,6% мас., із 18-відсоткового сусла – не менше 5,0% мас.

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники молодого пива, отриманого із 15%- і 16-відсоткового сусла

Показники молодого пива	Раса пивних дріжджів				Раса пивних дріжджів			
	Saflager W-34/70	Saflager S-23	Saftbrew S-33	Saftbrew T-58	Saflager W-34/70	Saflager S-23	Saftbrew S-33	Saftbrew T-58
Концентрація сусла, % мас.	15				16			
Вміст екстракту (% мас.): видимий дійсний	2,97 5,26	2,77 5,11	5,02 6,90	2,90 5,17	3,12 5,63	3,07 5,52	5,66 7,70	3,19 5,51
Вміст етанолу, % мас.	5,07	5,16	4,12	5,02	5,37	5,45	4,52	5,14
Ступінь збродження (%): видимий дійсний	80,14 66,57	81,47 67,63	66,00 55,21	80,36 66,72	81,07 67,53	81,44 67,10	70,58 59,15	80,78 67,29
pH	4,722	4,522	4,459	4,270	4,651	4,477	4,460	4,592
Кислотність, см ³ розчину 1 моль/дм ³ NaOH/100 см ³	2,4	2,7	2,5	2,7	3,0	3,1	2,9	2,8
Вміст ВДК, мг/дм ³	0,09	0,14	0,16	0,13	0,16	0,18	0,22	0,23

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники молодого пива, отриманого із 17- і 18-відсоткового сусла

Показники молодого пива	Раса пивних дріжджів				Раса пивних дріжджів			
	Saflager W-34/70	Saflager S-23	Saftbrew S-33	Saftbrew T-58	Saflager W-34/70	Saflager S-23	Saftbrew S-33	Saftbrew T-58
Концентрація сусла, % мас.	17				18			
Вміст екстракту (% мас.): видимий дійсний	3,24 5,79	3,21 5,76	5,85 7,89	3,44 5,93	3,85 6,47	3,65 6,31	6,01 8,21	3,96 6,56
Вміст етанолу, % мас.	5,70	5,68	4,97	5,55	5,90	5,99	4,90	5,83
Ступінь збродження (%): видимий дійсний	80,44 67,03	80,54 67,10	65,12 54,72	79,06 65,91	78,09 65,31	79,26 66,24	65,51 55,20	77,39 64,74
pH	4,650	4,720	4,395	4,308	4,747	4,713	4,443	4,332
Кислотність, см ³ розчину 1 моль/дм ³ NaOH/100 см ³	2,8	2,7	2,7	2,7	2,9	2,9	2,9	3,1
Вміст ВДК, мг/дм ³	0,14	0,13	0,14	0,17	0,09	0,15	0,16	0,22

Величина pH усіх зразків пива знаходиться в межах норми (4,2–4,7). Кислотність усіх зразків відповідає вимогам стандарту, зокрема зразки пива, отриманого з 15-відсоткового сусла, мають кислотність 2,4–2,7 см³ розчину 1 моль/дм³ NaOH/100 см³ (за стандартом 2,1–3,6), із 16-відсоткового сусла – 2,8–3,1 (2,5–4,5), із 17-відсоткового сусла – 2,7–2,8 (2,5–4,5), із 18-відсоткового сусла – 2,9–3,1 (2,5–5,0).

Вміст віцинальних дікетонів (2,3-бутандіону і 2,3-пентандіону) – побічних продуктів бродиння, які мають значний вплив на органолептичні властивості пива, в усіх зразках молодого пива становлять від 0,09 до 0,23 мг/дм³. Він відповідає вмісту в молодому пиві перед стадією добродження та дозрівання (0,3–0,6 мг/дм³), а деякі зразки – вмісту в готовому пиві (0,1–0,12 мг/дм³).

Збільшення концентрації сухих речовин у суслі від 16 до 18% мас. приводить до зменшення швидкості бродиння (рис. 2) та зниження ступеня збродження вуглеводів (табл. 1, 2). У зразках молодого пива, отриманих за участю всіх рас дріжджів, з підвищенням концентрації сусла зростає вміст екстракту та етанолу. Мінімальна кількість ВДК міститься в молодому пиві, отриманому з 15-відсоткового сусла, а максимальна – із сусла концентрацією 16% мас. Зниження значення pH і наростання кислотності молодого пива відбувається пропорційно зі збільшенням ступеня збродження вуглеводів сусла.

Кращі фізико-хімічні показники мають зразки молодого пива, отримані за участю рас низового бродиння Saflager W-34/70 та Saflager S-23, які забезпечують високий вміст спирту та ступінь збродження вуглеводів сусла порівняно з іншими дослідженими расами пивних дріжджів. Хоча дріжджі верхового

бродиння раси Saftbrew T-58 володіють вищою бродильною активністю, проте отримане молоде пиво містить меншу кількість спирту та має нижчий ступінь зброджування порівняно з расою Saflager W-34/70. Нижчий вміст ВДК характерний для молодого пива, отриманого за участю рас дріжджів низового бродиння, вищий вміст ВДК – при зброджуванні сусел дріжджами рас верхового бродиння. Для раси Saflager W-34/70 характерний найнижчий вміст ВДК в молодому пиві, отриманому в усьому діапазоні концентрацій сусла.

Висновки

Таким чином, для зброджування високогустинного пивного сусла концентрацією 15–18% мас. можуть використовуватись дріжджі низового бродиння рас Saflager S-23 і Saflager W-34/70 та верхового бродиння Saftbrew T-58, які володіють високою швидкістю та достатнім ступенем зброджування, дозволяють одержати пиво з відповідними фізико-хімічними показниками. Дріжджі раси Saflager W-34/70 є найбільш ефективними в умовах високогустинного пивоваріння.

Література

1. Корховий В. І. Колекція штамів мікроорганізмів та ліній рослин для харчової і сільськогосподарської біотехнології / В. І. Корховий // Вісн. НАН України. – 2015. – № 12. – С. 46–52.
2. Романова З. М. Дослідження пивних дріжджів, які застосовують при зброджуванні у ЦКБА / З. М. Романова, В. Л. Прибыльський, Ю. Дарменко // Харчова промисловість. – 2008. – № 6. – С. 59–61.
3. Кошова В. М. Динаміка фізіологічних показників різних рас пивних дріжджів в процесі головного бродиння / В. М. Кошова, Т. В. Коломієць, Л. Р. Решетняк // Перспективы развития научных исследований в 21 веке : материалы международной научно-практической конференции. – Москва, 2013. – Ч. 3. – С. 14–20.
4. Кошова В. М. Дослідження впливу різних рас дріжджів на зброджування пивного сусла і якість готового пива / В. М. Кошова, Л. Р. Решетняк, А. М. Куц // Наукові праці НУХТ. – 2015 р. – Том 21. – № 1. – С. 220–226.
5. Филимонова Т. И. Введение пивных дрожжей на заводах малой мощности / Т. И. Филимонова, Е. И. Несс, О. А. Борисенко // Пиво и напитки. – 2002. – № 1. – С. 14.
6. Косминский Г. И. Особенности сбраживания пивного сусла многоштаммовыми комбинациями дрожжей / Г. И. Косминский, Е. М. Моргунова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2005. – Вып. № 1. – С. 53–55.
7. Гинова-Стоянова Т. Получение гибридов пивных дрожжей с глюкоамилазной активностью. II. Исследование биохимических и технологических свойств полученных гибридов / Т. Гинова-Стоянова, С. Коева, К. Лахчев // Биотехнология и биотехника. – 1999. – № 5. – С. 25–27.
8. Корнейко Н. Культивування дріжджів і бродиння в умовах високогустинного пивоваріння / Н. Корнейко, О. Дерій, А. Мелетьев // Наукові здобутки молоді у вирішенні проблем харчування людства у XXI столітті : програма і матеріали 80 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. – Київ, 2014. – Ч. 1. – С. 333–334.
9. Physiological characterization of brewer's yeast in high-gravity beer fermentations with glucose or maltose syrups as adjuncts / M. Piddocke, S. Kreis, H. P. Heldt-Hansen // Microbiol Biotechnol. – 2009. – № 84. – P. 453–464.
10. Effects of Wort Gravity and Nitrogen Level on Fermentation Performance of Brewer's Yeast and the Formation of Flavor Volatiles / H. Lei, H. Zhao, Z. Yu, M. Zhao // Biochem Biotechnol. – 2012. – № 166. – P. 1562–1574.
11. Changes in the Yeast Metabolism at Very High-Gravity Wort Fermentation / J. Patkova, D. Smogrovicova, P. Bafrncova, Z. Domeny // Folia Microbiol. – 2000. – № 45. – P. 335–338.
12. Selection of *Saccharomyces pastorianus* variants with improved fermentation performance under very high gravity wort conditions / Z. Yu, H. Zhao, H. Li // Biotechnol Lett. – 2012. – № 34. – P. 365–370.
13. Вплив концентрацій сухих речовин та етанолу на бродильну активність пивних дріжджів / Т. Харандюк, Р. Косів, Л. Паляниця, Н. Березовська, Н. Паньків // Матеріали 81-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів „Наукові здобутки молоді – вирішенню проблеми харчування людства у XXI столітті”. – Київ, 2015. – Ч. 1. – С. 226–227.
14. Харандюк Т. В. Вплив температури на бродильну активність пивних дріжджів / Т. В. Харандюк, Р. Б. Косів // Збірник наукових праць молодих учених, аспірантів та студентів. – Одеса, 2015. – С. 157.
15. Зброджування висококонцентрованого сусла різними расами пивних дріжджів / Р. Б. Косів, Н. І. Березовська, Л. Я. Паляниця, Т. В. Харандюк // Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій]. – 2015. – Вип. 47, Т. 2. – С. 186–189.
16. Мелетьев А. С. Технохімічний контроль солоду, пива та безалкогольних напоїв: підручник / А. С. Мелетьев, С. Р. Тодосійчук, В. М. Кошова. – Вінниця : Нова книга, 2008. – 300 с.

Рецензія/Peer review : 31.5.2016 р.

Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Б. О. Дзіняк

УДК 621.396.96

Ю.М. БОЙКО, О.І. ЄРЬОМЕНКО, М.В. КОРОТУН

Хмельницький національний університет

МЕХАНІЗМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОПТОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Розглянуто механізми підвищення ефективності функціонування оптичних телекомунікаційних систем. Формалізовано принципи реалізації модулятора оптичної носійної та запропоновано схему оптичної лінії передачі інформації із зовнішнім модулятором. Розглянуто схематичні особливості електрооптичних модуляторів оптичного випромінювання під час формування сигналів цифрової маніпуляції. Розглянуто схему передавача оптичних сигналів із фазовою багаторівневою диференційною маніпуляцією. Запропоновані схеми реалізації фазових багаторівневих модуляторів оптичного випромінювання. Розроблено імітаційну схему для дослідження принципів формування сигналів фазової маніпуляції у оптичних телекомунікаційних системах. Отримано результати дослідження імітаційної схеми каналу передавання інформації у оптичних засобах телекомунікацій методами констеляційних діаграм, око-діаграм, побудови кривої завадостійкості в ході визначення енергетичного виграшу.

Ключові слова: електрооптичний модулятор, фазова маніпуляція, носійна частота, телекомунікаційна система.

J.M. BOIKO, O.I. EROMENKO, M.V. KOROTUN

Khmelnytskyi National University

MEANS IMPROVE THE EFFICIENCY OF OPTOELECTRONIC DEVICES IN TELECOMMUNICATION SYSTEMS

In this paper represents the peculiarities improve the efficiency of optical telecommunication systems. Formalized principles of the optical modulator and the carrier proposed scheme optic transmission of information to the external modulator. Schematic considered features electro-optical modulators radiation in the formation of the digital signal manipulation. Represents a scheme of transmitter optical signals from the differential phase multi manipulation. The proposed scheme implementation phase modulators multilevel optical radiation. Developed simulation scheme for research principles of phase shift keying signals in optical telecommunication systems. The results of the simulation study scheme channel information transmission in optical telecommunications methods constellation diagrams, eye diagrams, curve immunity in determining the energy gain.

Keywords: electro-optical modulator, phase shift keying, carrier frequency, telecommunication system.

Вступ

Дослідження оптичних телекомунікаційних систем передачі інформації вимагає необхідність поглибленого розуміння принципів роботи компонентів таких систем, чинників які впливають на ефективність їх роботи. Серед таких компонентів та чинників особливу роль відіграють засоби реалізації модуляції та демодуляції, генерування і виявлення оптичних сигналів із перспективними форматами модуляції, засоби некогерентної прямої ідентифікації оптичних сигналів; спотворення динаміки поширення оптичного сигналу в волоконних світловодах; шуми які виникають в оптоелектронних системах пов'язані із роботою оптичних підсилювачів і приймальних модулів; впливи пов'язані із особливостями реалізації електричних і оптичних фільтруючих пристроїв. Слід зазначити, що компенсація впливу дестабілізуючих факторів на якість передачі інформації в сучасних оптоелектронних системах має низку цілком конкретних рішень. Зокрема, середовище передачі може складатися з різних типів оптичних волокон, стандартних одномодових світловодів (ITU-G.652) або з нульовою зміщеною дисперсією волокна (ITU-G.655), волокна із зміщеною довжиною хвилі відсічки (ITU-G.654), або нового типу – волокна із нульовою дисперсією для широкосмужової передачі інформації та волокна із зменшеними втратами на малих радіусах згину (ITU-G.656, ITU-G.657). Дисперсія і спотворення світлових хвиль сигналів компенсується за допомогою таких волоконних світловодів. Наприклад, волоконні світловоди із нульовою зміщеною дисперсією використовують в супроводі двох дискретних оптичних підсилювачів легованих ербієм, один для попередньої компенсації ослаблення діапазону передачі, а інший представляє собою підсилювач – для підвищення потужності оптичного випромінювання в каналах до прийнятного рівня, який обумовлений рівнем нелінійних спотворень [1].

Приймаюча підсистема може бути реалізована на основі одиночного детектору прямого виявлення або балансного детектору. Перший тип приймача широко використовується для виявлення амплітудно-маніпульованих оптичних сигналів, а другий тип, звичайно, виступає в якості оптичного фазового компаратора з використанням затримок у інтерферометрі [2].

Оптичні модулятори використовуються для електричного управління вихідною амплітудою або фазою світлової хвилі при проходженні через пристрій. Для того, щоб управляти оптичними властивостями модулятора за допомогою зовнішнього електричного сигналу використовують електрооптичні ефекти, наприклад ефект Погкельса [3–5], коли подвійне променезаломлення кристала змінюється пропорційно

прикладеному електричному полю. Рефракція призводить до зміни фазових затримок світлової хвилі яка проходить через кристал. В цьому випадку, об'єднання двох хвиль із різною фазою дозволяє інтерферометрично отримати сформований сигнал із амплітудною або фазовою модуляцією [6].

Таким чином, основні переваги пов'язані із використанням оптичних волокон в телекомунікаційних системах пов'язані з низькими витратами при передачі інформації, тривалим терміном експлуатації і стійкістю до електромагнітних завад. Однак, в цьому випадку стрімко зростаючі вимоги до підвищення швидкостей передачі інформації, створюють науково-прикладну проблему яка полягає в пошуку нових методів формування сигналів (модуляції), які можна використовувати в оптоелектронних телекомунікаційних системах. Сучасна реалізація телекомунікаційних оптичних систем головним чином пов'язана з впровадженням технології щільного спектрального розподілення каналів (DWDM – Dense Wavelength Division Multiplexing) рис. 1 [6].

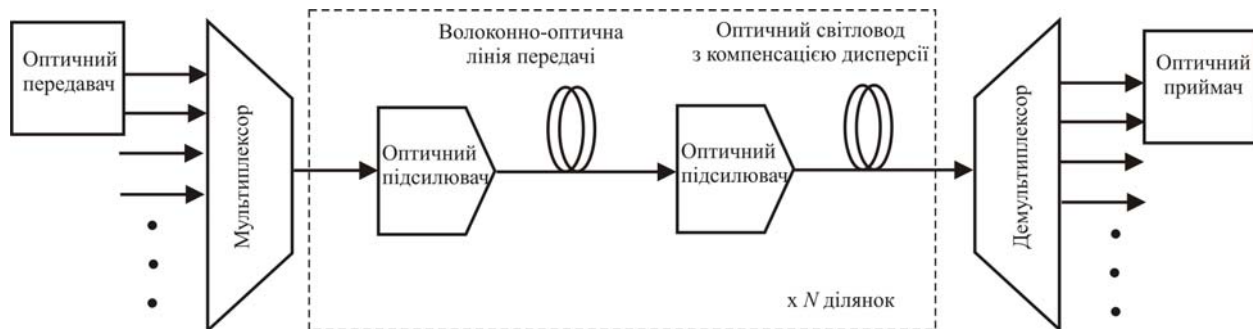


Рис. 1. Структурна схема оптичної транспортної мережі із DWDM

Постановку завдання на дослідження представлено у статті можна подати наступним чином. Коли ми говоримо за спектральну ефективність, то маємо на увазі чисельну міру ефективності використання спектрального діапазону для передачі інформації. Загалом, з [6] визначаємо її як відношення пропускної здатності каналу $R_{\max} \leq C$ до частотного рознесення між каналами δF :

$$\eta = \frac{R_{\max}}{\delta F}, \quad (1)$$

де пропускна здатність: $R_{\max} = I \cdot R_{\text{сим}}$, тобто добуток між інформаційною ємністю сигналу (ентропією) і символною швидкістю передачі інформації.

Якщо рознесення між каналами строго фіксоване, підвищення спектральної ефективності може відбуватись за рахунок зміни пропускної здатності системи – C . Тут виникає дилема, необхідно або підвищувати швидкість передачі символів $R_{\text{сим}}$, або застосовувати сигнали із великою інформаційною ємністю – I . Слід зазначити, що швидкість передачі символів обмежена на даному етапі розвитку оптичних систем рівнем 50 Гбод, крім того, підвищення швидкості супроводжується і зростанням спотворень, виникненням хроматичної дисперсії, поляризаційної модової дисперсії [1, 4, 5]. Все це в кінцевому рахунку призводить до зменшення довжини ділянки регенерації [1]. Таким чином, вимога до збільшення швидкості передачі інформації, виносить на перший план завдання реалізації у телекомунікаційних оптичних системах багатопозиційних форматів модуляції, зокрема для високошвидкісних оптичних систем (пропускна здатність порядку 50 Гбіт/с і більше). Реалізація таких форматів можлива на основі квадратурної фазової та амплітудної модуляції, які в кінцевому рахунку повинні забезпечити не лише підвищення спектральної ефективності, а і зменшення чутливості сигналів до дисперсійних впливів та завад [7].

В статті розглядаються результати дослідження пристрою формування сигналів фазової маніпуляції з метою використання її у оптичних телекомунікаційних каналах при компенсації нелінійних ефектів які притаманні оптичним середовищам.

Аналіз останніх досліджень і публікацій та розробка питання реалізації схеми формування сигналів фазової маніпуляції

Перед формуванням схеми передавача оптичної телекомунікаційної системи передачі інформації розглянемо фізичні принципи реалізації зовнішнього модулятора оптичної носійної. На рис. 2 представлено схемну реалізацію модулятора оптичної носійної. Представимо аналітично в експоненційній формі електричну складову поля на виході модулятора наступним чином:

$$E_{\text{вих}}(t) = 0,5E_i(e^{j\Delta\varphi_1(t)} + e^{j\Delta\varphi_2(t)})e^{j\omega_n t}. \quad (2)$$

У формулі 2: $\Delta\varphi_1$ та $\Delta\varphi_2$ відповідно фазові зсуви у колі модулятора які обумовлені виникненням ефекту Поккельса за рахунок подачі на електроди модулятора електричних сигналів (рис. 2); ω_n – частота оптичної носійної [8]. Фазові зсуви аналітично опишемо наступним рівнянням:

$$\Delta\varphi_i(t) = \frac{\pi}{U_{\lambda/2}} U_i(t); i = 1, 2, \quad (3)$$

де частка $\pi/U_{\lambda/2}$ – буде відповідати за зміну фази в залежності від прикладеної напруги керування, $U_{\lambda/2}$ – півхвильова напруга (напруга яка прикладається до відрізка хвильоводу модулятора для зміни фази світлової хвилі на π радіан. Як правило, має значення в діапазоні від 3В до 6В [3–5]); U_{m1} і U_{m2} – напруги прикладені до плечей модулятора (або кодувальні цифрові послідовності).

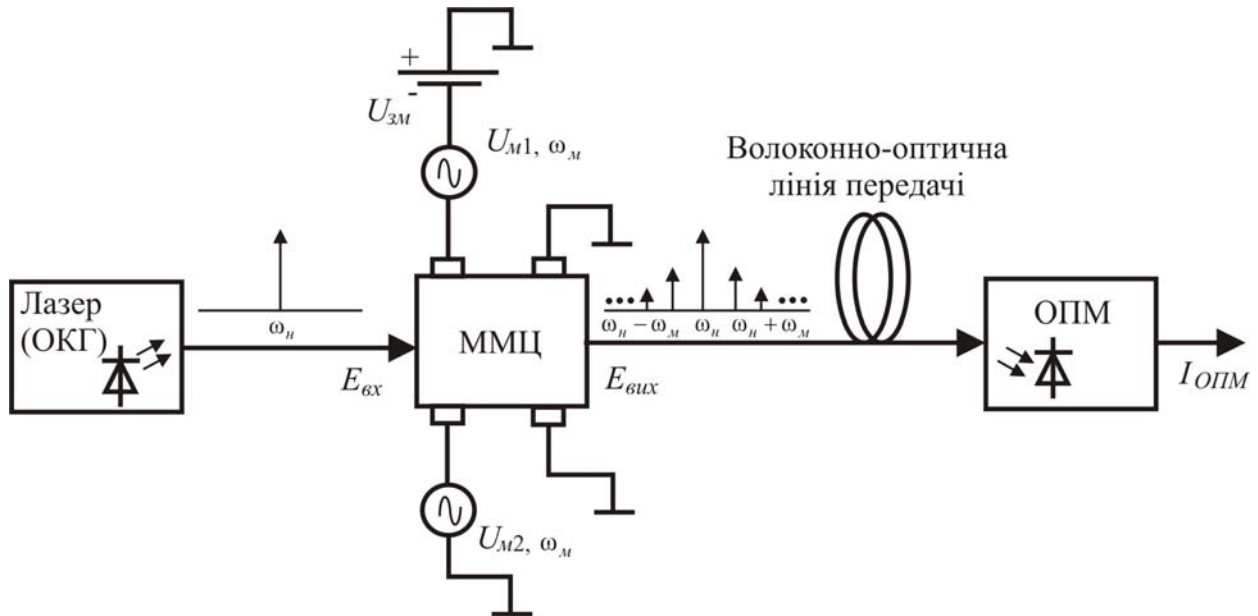


Рис. 2. Структурна схема оптичної лінії передачі інформації із зовнішнім модулятором: ММЦ – інтерферометр (модулятор) Маха-Цендера; ОКГ – оптичний квантовий генератор; ОПМ – оптичний приймальний модуль

Якщо модулятор зміщено в квадратурі [8–10], то представивши напругу зміщення як $U_{zm} = (2m-1)U_{\lambda/2}/2$, $m = 1, 2, \dots$, а напруги модуляції U_m у вигляді гармонійних сигналів, із врахуванням (3) отримаємо:

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_1(t) &= \frac{\pi}{U_{\lambda/2}} U_{m1} \cos(\omega_m t) + \frac{\pi}{2} \\ \Delta\varphi_2(t) &= \frac{\pi}{U_{\lambda/2}} U_{m2} \cos(\omega_m t) \end{aligned} \quad (4)$$

Рівняння (2) можна представити у тригонометричному вигляді і з врахуванням формул (3) і (4). Тоді електрична складова поля на виході модулятора, через функції Бесселя буде мати вигляд [6]:

$$\begin{aligned} E_{вих}(t) &= [0,5(J_0(\pi/U_{\lambda/2} \cdot U_{m2}) - jJ_0(\pi/U_{\lambda/2} \cdot U_{m1})) + \sum_{m=1}^{\infty} (J_{2m-1}(\pi/U_{\lambda/2} \cdot U_{m1}) + jJ_{2m-1}(\pi/U_{\lambda/2} \cdot U_{m2})) \cdot \\ &\quad \sin((2m-1)\omega_m t) + \sum_{m=1}^{\infty} (J_{2m}(\pi/U_{\lambda/2} \cdot U_{m2}) - jJ_{2m}(\pi/U_{\lambda/2} \cdot U_{m1})) \cdot \cos(2m \cdot \omega_m t)] e^{j\omega_n t} \end{aligned} \quad (5)$$

де $J_m(x)$ – функції Бесселя першого роду m -го порядку.

Тепер розглянемо детально принцип роботи самого модулятора. На рис. 3 представлено структуру інтерферометра Маха-Цендера в якому використовується два Y-подібних хвильоводних з'єднання. Обидва плеча звичайно виконуються однаковими за довжиною і вхідний сигнал з допомогою першого Y-подібного хвильоводу розділяється на дві частини. Якщо хвилі даних розділених частин співпадають за фазою у другому Y-подібному хвильоводному з'єднанні то отримаємо максимальний сигнал на виході. На рис. 2 до плечей інтерферометра прикладена напруга модулюючої частоти і тоді фаза світлової хвилі змінюється у відповідності до значень даної частоти. Таким чином інтенсивність вихідного сигналу такого інтерферометру буде модулюватись прикладеними до плечей сигналами. В якості підкладки використовується кристал LiNbO_3 із зрізом по вісі Z. Якщо збудити ТМ моду, то в нижньому і верхньому плечах в наслідок наявності складових напруженості електричного поля, як було показано вище, виникне зсув по фазі $\Delta\varphi$ і $-\Delta\varphi$, а загальна різниця між фазами світлових сигналів різних плечей буде складати $2\Delta\varphi$. Маємо модулятор який працює за двотактною схемою. При ширині хвильоводів 3...4 мкм і куті розгалуження близько 1° , втрати розсіювання в точці розгалуження не перевищують 1дБ, рис. 4. Зміною форми

електродів можна забезпечити реалізацію модулятора який працює незалежно від площини поляризації вхідної світлової хвилі [1–5].

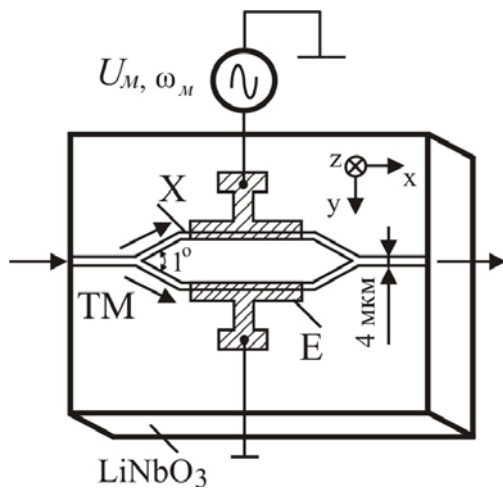


Рис. 3. Модулятор світлового потоку інтерференційного типу: X – хвильоводи; E – електроди; TM – тип хвилі

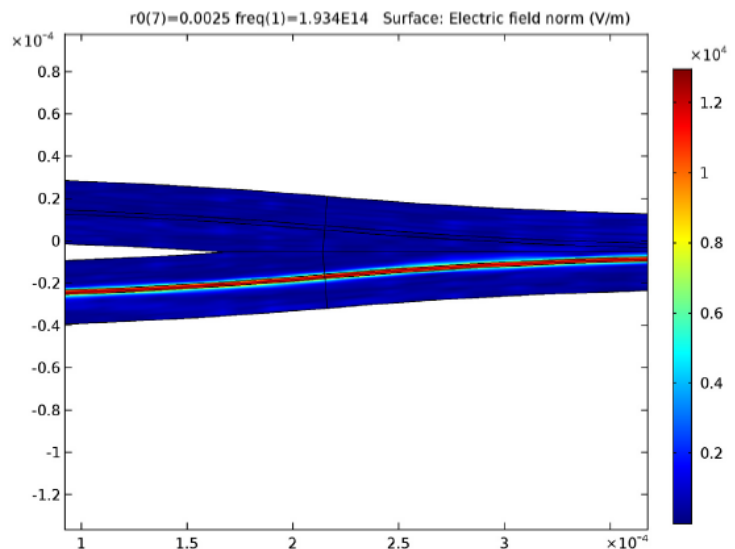


Рис. 4. Результати моделювання умов поширення хвилі у модуляторі в залежності від радіуса вигину оптичного хвильоводу

Розглянемо якісні показники модулятора. Представимо аналітично світлову хвилю на виході модулятора наступним рівнянням (враховуємо низькочастотні складові та миттєві значення фазових зсувів у плечах модулятора) [3]:

$$E_{вих}(t) = 0,5E_i(e^{j\Delta\varphi_1} + \kappa e^{j\Delta\varphi_2}), \quad (6)$$

де E_i – амплітуда хвилі на виході модулятора; κ – коефіцієнт масштабування, який введемо для встановлення еквівалентної величини поділу потужності між плечима модулятора.

$$\kappa = \frac{(\rho^{1/2} - 1)}{(\rho^{1/2} + 1)}, \quad (7)$$

де ρ – коефіцієнт затухання хвилі у пристрої.

Миттєве значення інтенсивності оптичного сигналу у пристрої виразимо так:

$$I_{ОПМ} = I_{ex} \sin^2 \left(\frac{\pi n_0^3 s_{ij} U_i}{\lambda} \right) = I_{ex} \sin^2 \left(\frac{\Delta\varphi}{2} \right), \quad (8)$$

де n_0^3 – коефіцієнт заломлення звичайної хвилі; s_{ij} – електрооптичний коефіцієнт (залежить від властивостей матеріалу, м²/В); λ – довжина хвилі.

Вихідна потужність модулятора через різницю фаз оптичного сигналу в плечах модулятора аналітично може бути представлена наступним чином:

$$P_{ОПМ} = 0,5(E_{i1}^2 + E_{i2}^2 + 2E_{i1}E_{i2} \cos(\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2)), \quad (9)$$

де E_{i1} та E_{i2} – амплітудні значення поля у плечах модулятора.

Різниця за фазою $\Delta\varphi$, загалом, визначається довжиною відрізків хвильоводів $l_{xв}$, зміною показника заломлення Δn та оптичного фактору моди ξ [3].

$$\Delta\varphi = \xi \Delta n \frac{2\pi}{\lambda} l_{xв}. \quad (10)$$

Враховуємо вираз для зміни показника заломлення хвильоводу Δn від прикладеної напруги U_i :

$$\Delta n = 0,5n_0^3 s_{ij} \frac{U_i}{y}. \quad (11)$$

Тобто півхвильову напругу можна представити виразом:

$$\Delta\varphi = \frac{\pi}{\lambda} n_0^3 s_{ij} \xi \frac{l_{xв}}{y} U_i = \pi \frac{U_i}{U_{\lambda/2}} \quad \text{де} \quad U_{\lambda/2} = \frac{\lambda}{n_0^3 s_{ij} \xi l_{xв}}, \quad (12)$$

де y – відстань між електродами модулятора.

Розглянемо питання пов'язані із схемотехнічної реалізації модулятора. На рис. 5 а, б представлено схеми електрооптичних модуляторів: а – фазового; б – модулятора інтенсивності.

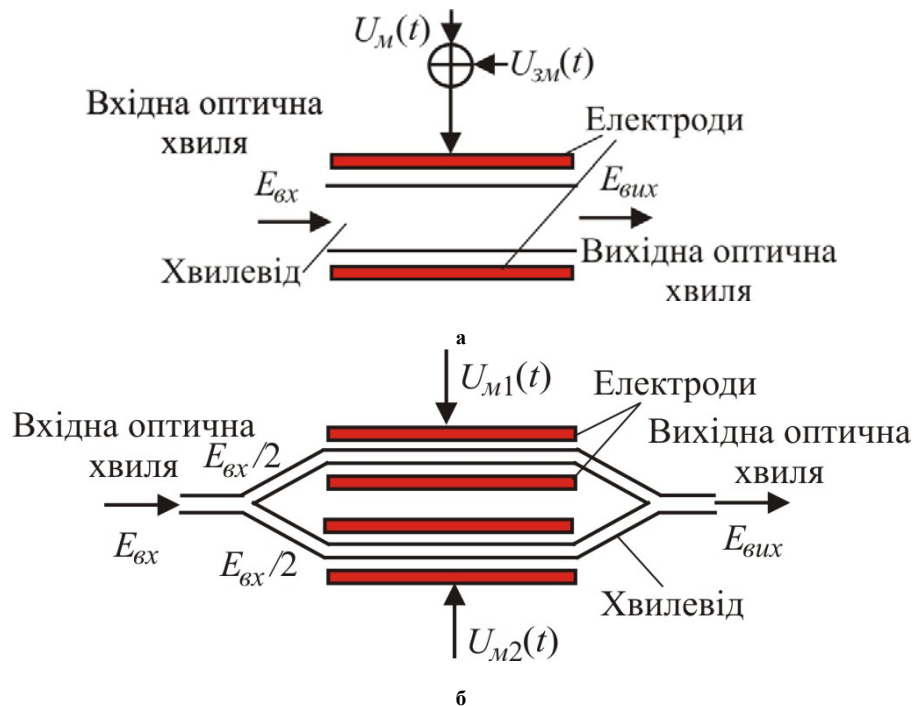


Рис. 5. Схеми електрооптичних модуляторів: а – фазового; б – модулятора інтенсивності оптичного випромінювання

Виділимо основні особливості реалізації таких модуляторів. Електрооптичний фазовий модулятор, представлений на рис 5 а, використовує один хвилевід. При подачі на електрод маніпулюючого коду у вигляді керуючого сигналу, змінюється показник заломлення середовища поширення світлової хвилі, що спричиняє зміни величини затримки поширення світлової хвилі. Оскільки така затримка буде відповідати фазовому зсуву, такий модулятор можна використати для формування сигналу фазової модуляції оптичної носійної. Як було показано вище, для випадку на рис. 5.б, світлова хвиля на вході модулятора розгалужується у два плеча. Звичайно розгалуження відбувається за допомогою 3 дБ розгалужувача [1–5]. В цьому випадку конструкція модулятора може бути двох типів. В першому випадку керуючий сигнал $U_M(t)$ присутній лише на одному з плечей модулятора. В цьому випадку, на основі (2-5) для оптичного поля на виході модулятора можна представити наступний вираз:

$$E_{вих}(t) = E_i \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{(U_M(t) + U_{3M})}{U_{\lambda/2}}\right) e^{-\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{(U_M(t) + U_{3M})}{U_{\lambda/2}}\right)}. \quad (13)$$

У випадку подачі керуючих сигналів із зміщенням на обидва електроди, отримаємо:

$$E_{вих}(t) = E_i \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{(U_M(t) + U_{3M})}{U_{\lambda/2}}\right). \quad (14)$$

В схемі на рис. 2 керуючі напруги $U_{M1}(t)$ і $U_{M2}(t)$ є зворотними одна одній $U_{M1}(t) = -U_{M2}(t)$. Таким чином усувається ефект чирпирования. Основні показники сучасних модуляторів: коефіцієнт ослаблення сигналу досягає 13 дБ; швидкість модулюючого потоку сягає 75 Гбіт/с. Так як лінійний електрооптичний ефект головним чином обумовлений переходами в електронній підсистемі, часовий відгук зміни показника заломлення наближається до часу релаксації електронної підсистеми, який лежить в межах 10^{-13} – 10^{-14} с. Тому у випадку практичної реалізації можна знехтувати частотною характеристикою лінійного електрооптичного ефекту. Слід виділити окремо, аспект пов'язаний із тим, що для даної довжини взаємодії питома потужність залежить від площі перерізу, який займає керуючий електрод. Оптимальним є випадок коли об'єми які займають оптичне поле і прикладене керуюче поле однакові. Якщо оптичне поле займає менший об'єм ніж керуюче, то частина керуючого поля не використовується. Якщо керуюче поле займає об'єм менший об'єму оптичного поля, то зменшується сила взаємодії. Питома потужність електрооптичних модуляторів можна формалізовано подати наступним чином [3]:

$$\frac{P}{\Delta f} = \left(\frac{\pi}{2}\right) (\epsilon_0 \epsilon E^2) V_M, \quad (15)$$

де εE^2 – усереднена величина прикладеної напруги, ε_0 – проникненість вакууму; V_m – об'єм модуляційного середовища.

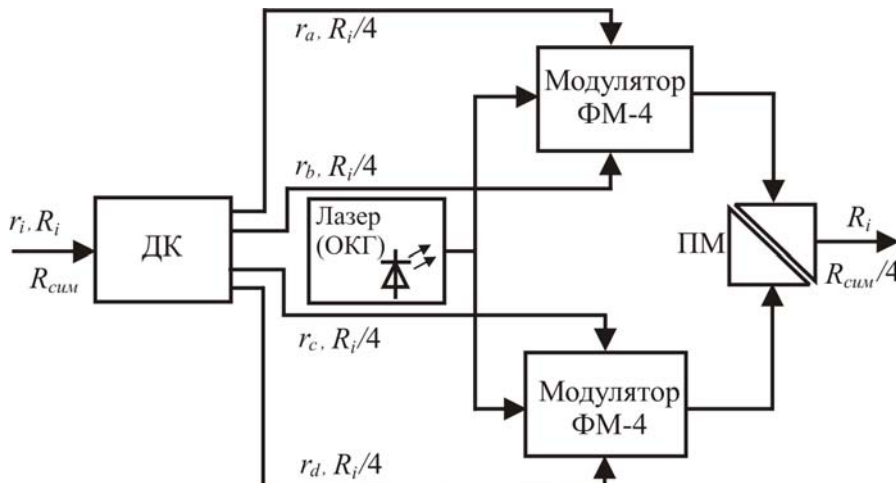


Рис. 6. Схема структурна оптичного передавача із квадратурною фазовою маніпуляцією ДФМ-4: ДК – диференціальний кодер; ПМ – поляризаційний мультиплексор

позначено на рис. 6 як r_a, r_b, r_c, r_d . Швидкість кожного цифрового потоку, відповідно $R_i/4$. Тривалість

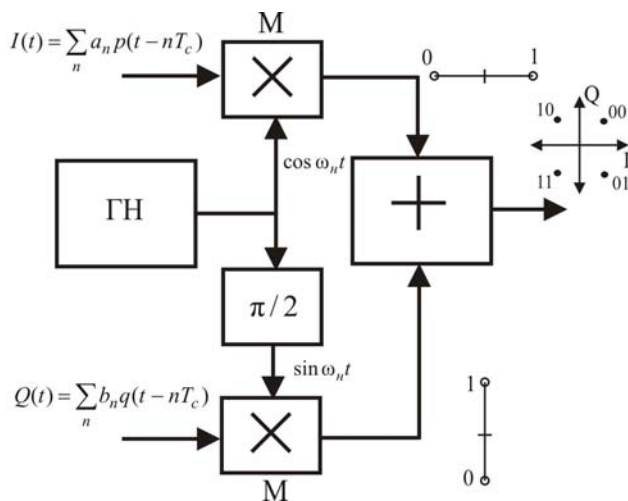


Рис. 7. Схема структурна формувача-модулятора ФМ-4: ГН – генератор носійної; М – модулятори; $\pi/2$ – фазообертач

символу інформаційного потоку r_i дорівнює T , а тривалість символів цифрових послідовностей $r_a, r_b, r_c, r_d - T_{сум} = 4T$. Далі, цифрові потоки r_a, r_b та r_c, r_d поступають на ФМ-4 модулятори нижнього та верхнього плечей передавача. Джерелом носійного сигналу є лазер (ОКГ). На рис. 7 представлено схему фазового модулятора ФМ-4.

В роботі [10], було подане аналітичне представлення сигналу ФМ-4. Представимо коливання M -позиційної фазо-модульованої носійної у вигляді:

$$r_i(t) = A_0 \cdot \cos(\omega_0 t - \varphi_i), \quad (16)$$

де A_0 – визначає амплітуду носійної із кутовою частотою ω_n . Дискретні значення фази $\varphi_i = \frac{2\pi m_i}{M}$, M – кількість можливих

сигналів, M -й символи m_i виберемо з множини $\{0, 1, 2, \dots, M-1\}$. Звичайно [6] $M = 2^k$, $k = 1, 2, 3, \dots$. Тоді кожний M -й символ m_i відповідає набору з $k = \log_2 M$ двійкових інформаційних символів на вході ДК, а тривалість $T_{сум} = T \log_2 M$, де T – тривалість двійкового символу. Модульований сигнал (16) представимо у вигляді:

$$r_i(t) = [r(t) \cos \varphi(t)] \cos \omega_n t + [r(t) \sin \varphi(t)] \sin \omega_n t. \quad (17)$$

Нехай вирази у квадратних дужках визначаються видом переданої інформації яка модулює ортогональні підносійні $\cos \omega_n t$ і $\sin \omega_n t$. Позначимо $r(t) \cos \varphi(t) = r_0 I(t)$ і $r(t) \sin \varphi(t) = r_0 Q(t)$. Вид модулюючих функцій $I(t)$ і $Q(t)$ задає метод модуляції і визначає властивості сигналів. Представимо їх у вигляді $I(t) = \sum a_n p(t - nT_{сум})$, $Q(t) = \sum b_n q(t - nT_{сум})$, де a_n, b_n – інформаційні символи, $p(t)$ і $q(t)$ – елементарні модулюючі сигнали у квадратурних каналах формувача фазо-модульованих сигналів рис. 8. Звичайно послідовність символів a і b отримують розщепленням вихідної інформаційної послідовності на парні та непарні символи. У випадку ФМ-4 символи a і b – двійкові рис. 8 [12–15].

У випадку модуляції повним відгуком слід забезпечити умови:

$$I^2(t) + Q^2(t) = \text{const}; \quad p(t) = q(t) = \text{sign}(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq T_{\text{сум}} \\ 0, & T_{\text{сум}} < t < 0 \end{cases}, \quad (18)$$

при цьому двійкові інформаційні символи дорівнюють $a_n = \pm 1$ і $b_n = \pm 1$. Якщо на інтервалі тривалістю $T_{\text{сум}} = 2T$ розташовано чотири можливі комбінації символів a і b , маємо наступні варіанти сигналів, які утворюють біортогональний ансамбль сигналів для ФМ-4:

$$\begin{aligned} r_0(t) &= \sqrt{\frac{E_{\text{сум}}}{T_{\text{сум}}}} (\cos \omega_n t + \sin \omega_n t) = \sqrt{\frac{E_{\text{сум}}}{T_{\text{сум}}}} \cos(\omega_n t - \frac{\pi}{4}), \\ r_1(t) &= \sqrt{\frac{E_{\text{сум}}}{T_{\text{сум}}}} (\cos \omega_n t - \sin \omega_n t) = \sqrt{\frac{E_{\text{сум}}}{T_{\text{сум}}}} \cos(\omega_n t + \frac{\pi}{4}), \\ r_2(t) &= \sqrt{\frac{E_{\text{сум}}}{T_{\text{сум}}}} (-\cos \omega_n t - \sin \omega_n t) = \sqrt{\frac{E_{\text{сум}}}{T_{\text{сум}}}} \cos(\omega_n t + \frac{3\pi}{4}), \\ r_3(t) &= \sqrt{\frac{E_{\text{сум}}}{T_{\text{сум}}}} (-\cos \omega_n t + \sin \omega_n t) = \sqrt{\frac{E_{\text{сум}}}{T_{\text{сум}}}} \cos(\omega_n t - \frac{3\pi}{4}), \end{aligned}$$

Тут слід зазначити, що в процесі формування послідовність входних двійкових інформаційних символів розділяється на послідовності a і b , які модулюють квадратурні підносійні, рис. 8. Тривалість

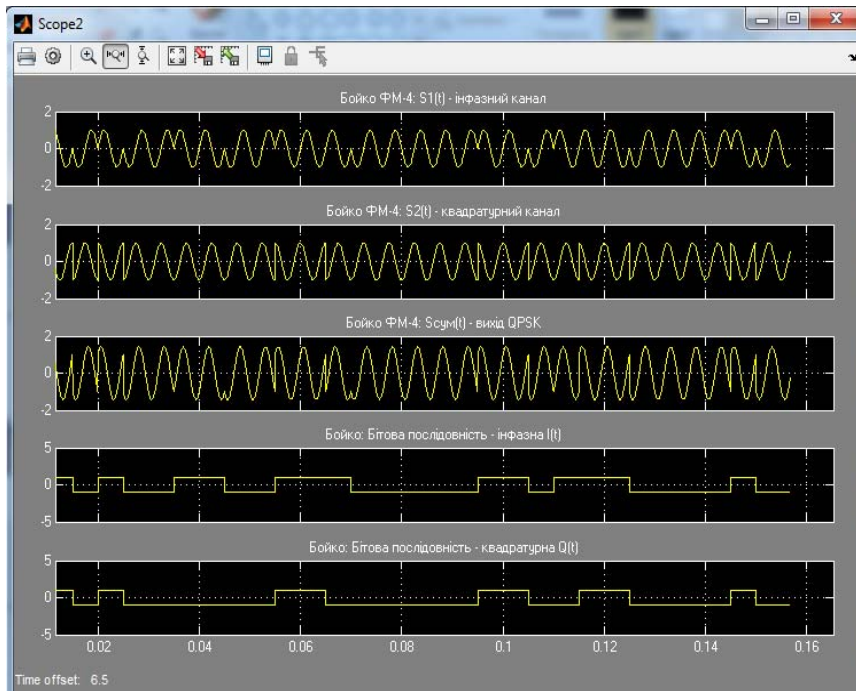


Рис. 8. Часові діаграми роботи модулятора ФМ-4 у відповідності до рис. 7

кожного символу на вході дорівнює T , а тривалість символів a і b дорівнює $T_{\text{сум}} = 2T$. На рис. 8. представлені часові діаграми роботи модулятора ФМ-4. Підвищення спектральної ефективності в схемі формування маніпульованих сигналів досягається, також, використанням спектрального мультиплексування. На рис. 6, на виході модуляторів М отримаємо оптичні сигнали поляризовані у взаємно перпендикулярних площинах. Використання поляризаційного мультиплексору в схемі дозволяє об'єднати сигнали квадратурної фазової маніпуляції в ортогональних площинах і отримати на виході передавача сигнал із

швидкістю інформативного потоку R_i та цифровою швидкістю передачі $R_{\text{сум}}/4$. Приймання та оброблення сигналів здійснюється на основі диференційного когерентного детектування [8].

Розробка та дослідження імітаційної схеми оптичної телекомунікаційної системи передачі інформації

Використаємо проведений вище математичний та фізичний опис роботи модуляторів оптичного випромінювання, та проведемо розробку імітаційної схеми оптичного телекомунікаційного каналу передачі інформації. Будемо проектувати модулятори оптичного випромінювання за допомогою паралельного з'єднання модуляторів Маха-Цендера, які представлено на рис. 3 та рис. 5. Вихідний сигнал кожного плеча інтерферометра Маха-Цендера представляє сигнал бінарної фазової маніпуляції ФМ-2, який зміщений по фазі під впливом керуючого коду який подається на електроди рис. 5, б. Очевидно, що в цьому випадку кількість рівнів маніпульованого світлового сигналу буде визначатись кількістю комірок утворених з електрооптичних модуляторів представлених на рис. 5. Формуємо сигнал квадратурної фазової маніпуляції. Для цього використаємо два електрооптичних модулятора у яких реалізується зсув по фазі на $\pi/2$ радіан. Далі, реалізуємо формувач сигналів ФМ-8. Схема буде містити чотири електрооптичні модулятори по два модулятори ФМ-2, у яких реалізується фазовий зсув оптичної хвилі на $\pi/4$ радіан. Схеми таких модуляторів представлено на рис. 9 та рис. 10, а імітаційні схеми оптичного каналу і підсистем представлені

на рис. 11–12.

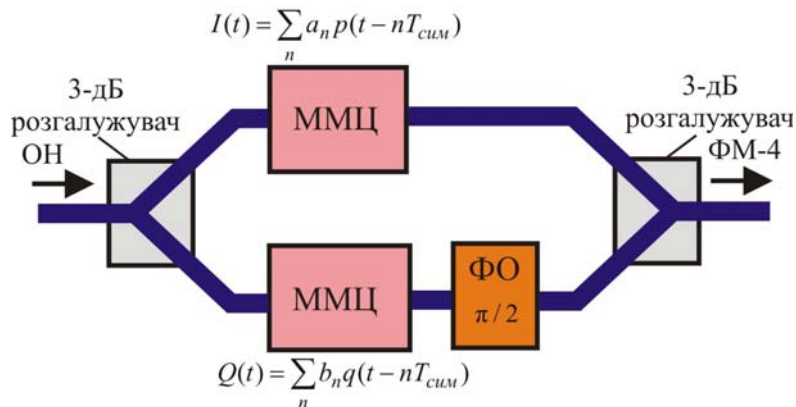


Рис. 9. Схема модулятора ФМ-4 для оптичної носійної: ОН – оптична носійна; ММЦ – електрооптичний модулятор (Маха-Цендера); ФО – фазообертач

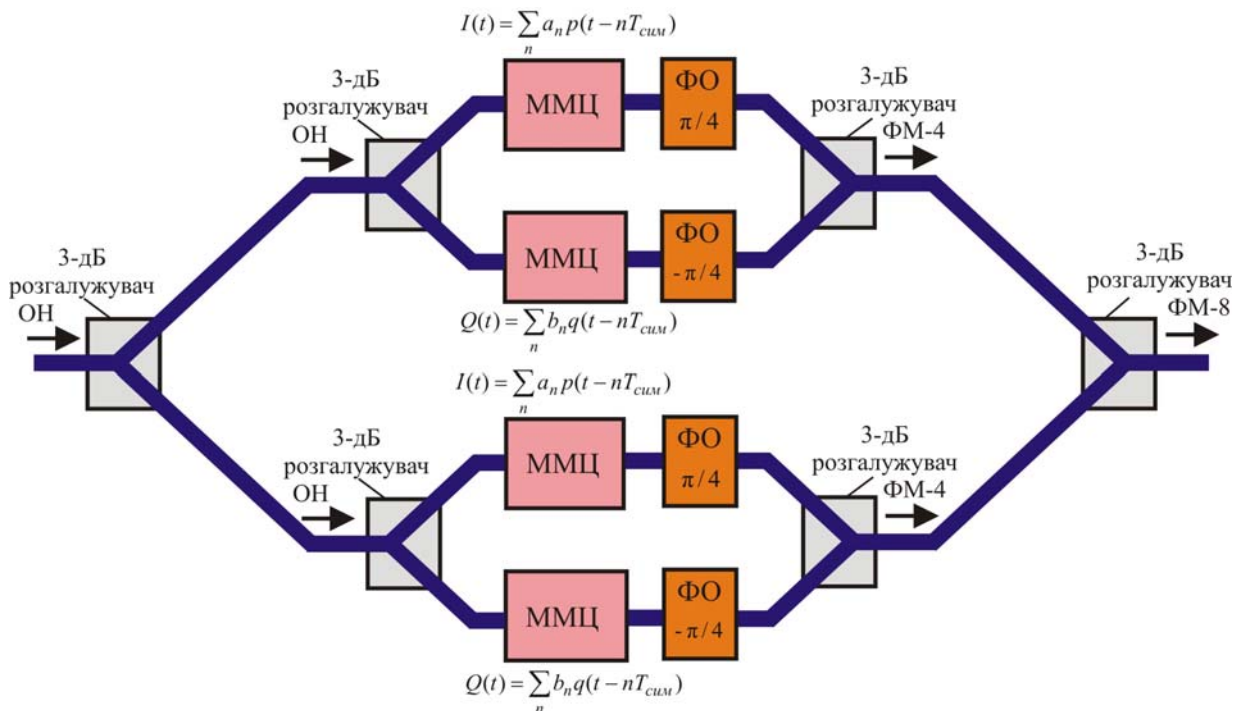


Рис. 10. Схема модулятора ФМ-8 для оптичної носійної: ОН – оптична носійна; ММЦ – електрооптичний модулятор (Маха-Цендера); ФО – фазообертач

На рис. 13–16 результати дослідження схеми оптичного каналу передачі інформації.

Тепер зупинимось коротко на особливостях запропонованої схеми оптичної телекомунікаційної системи передачі інформації яка представлена на рис. 11. В схемі пропонується використовувати модель оптичної лінії “Subsystem fiber channel” яка враховує вплив дисперсії на продуктивність системи. Контроль дисперсійних явищ особливо важливий у оптичних мережах із великою ємністю потоку, більше 10 Гбіт/с. При моделюванні використовували дані на стандартні одномодові волоконні світловоди [1]. Ми представили модель оптичного світловода як модель смугового фільтра. Передавальну функцію (розглядаємо частотну область) для лінійної моделі оптичного світловоду представимо наступним виразом із врахуванням того, що потужність світлового потоку спадає із збільшення довжини l за експонентою [3]:

$$G(f) = e^{-j\pi D(\lambda) \lambda f}, \quad (19)$$

де $D(\lambda)$ – дисперсія оптичного світловода; λ та f – робоча довжина хвилі оптичного випромінювання та частота.

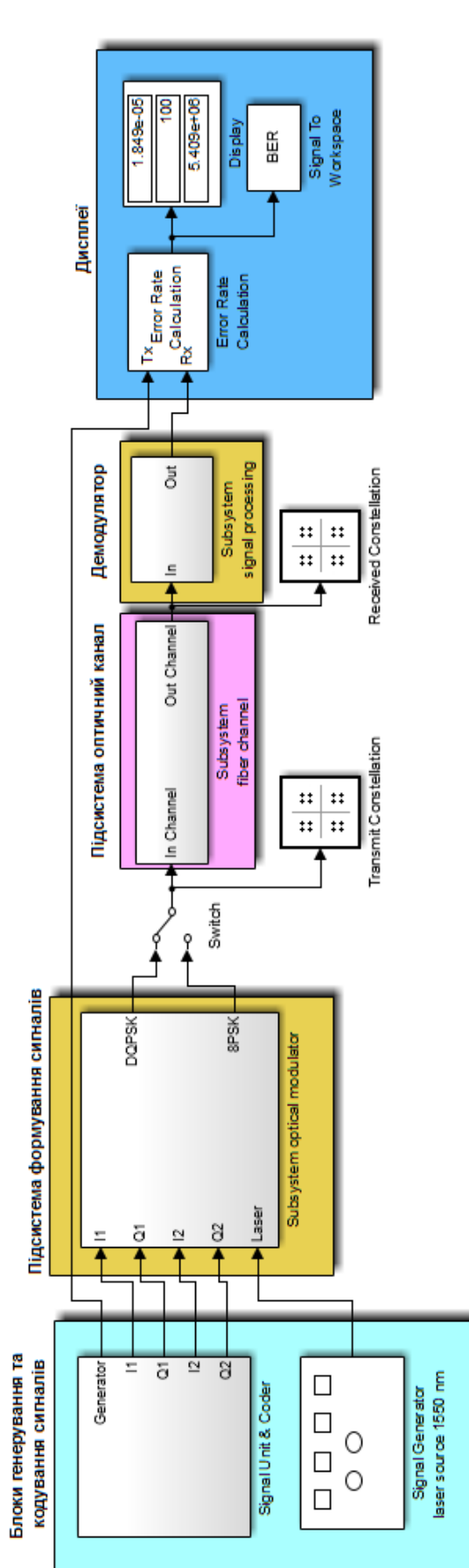


Рис. 11. Імітаційна схема оптичного каналу передачі інформації

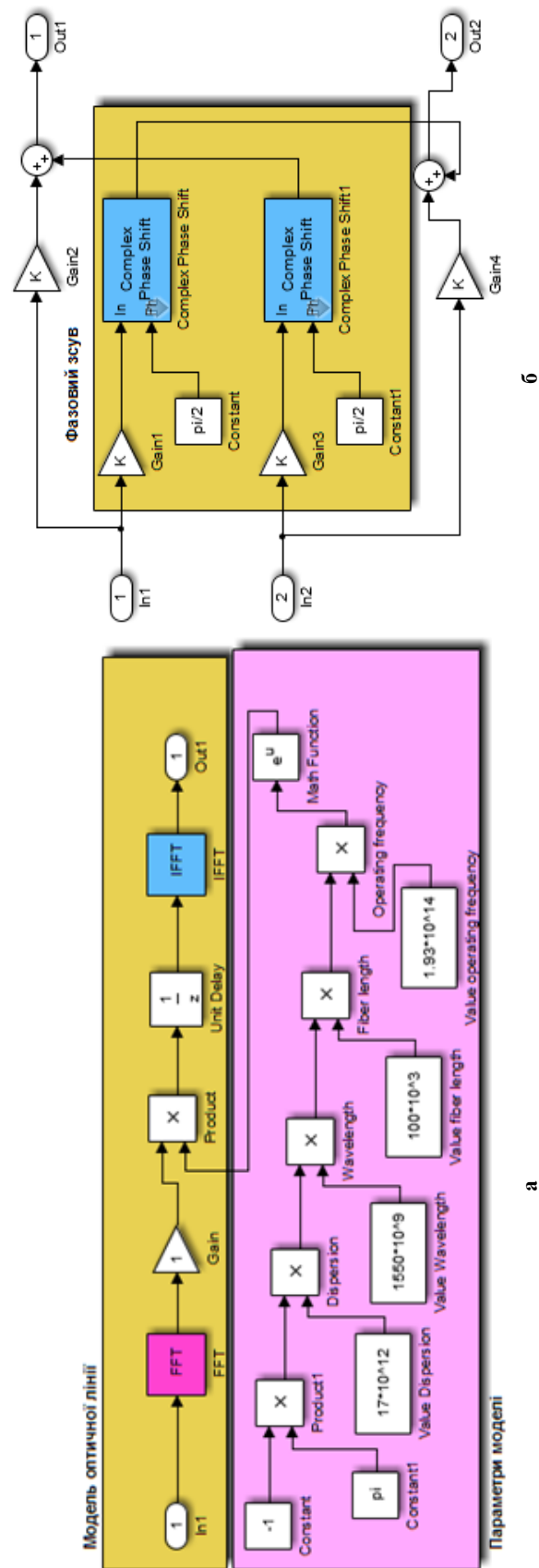


Рис. 12. Фрагменти імітаційних схем підсистем оптичного каналу – а та модулятору оптичної носійної – б

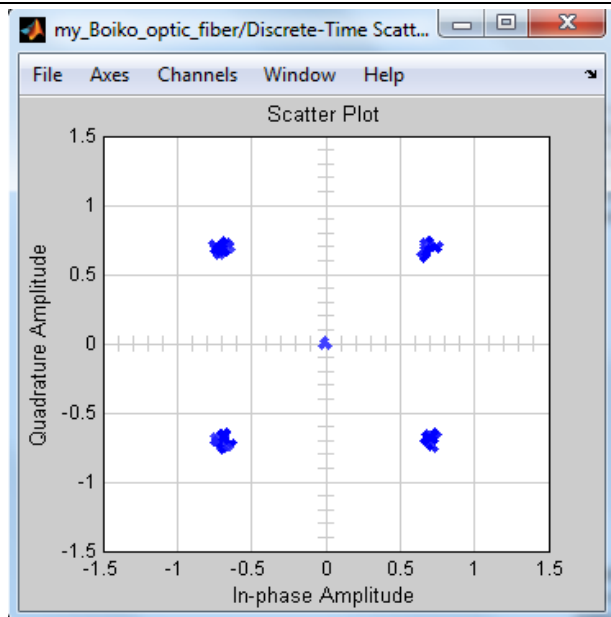


Рис. 13. Констеляційна діаграма ДФМ-4 отримана при симуляції роботи схеми

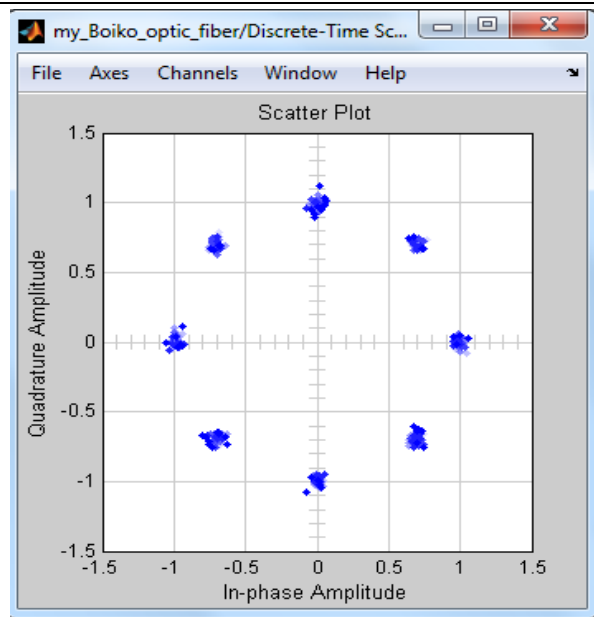


Рис. 14. Констеляційна діаграма ФМ-8 отримана при симуляції роботи схеми

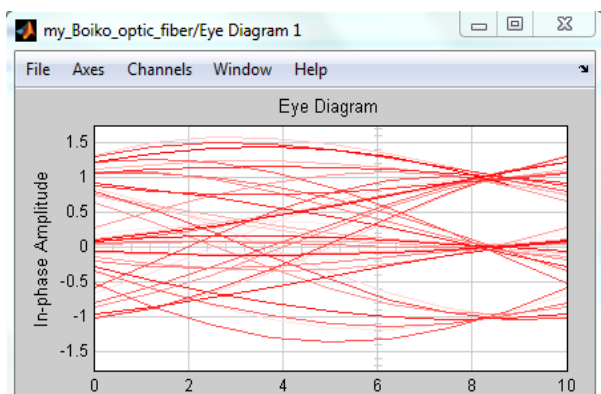


Рис. 15. Око-діаграма ДФМ-4 отримана при симуляції роботи схеми

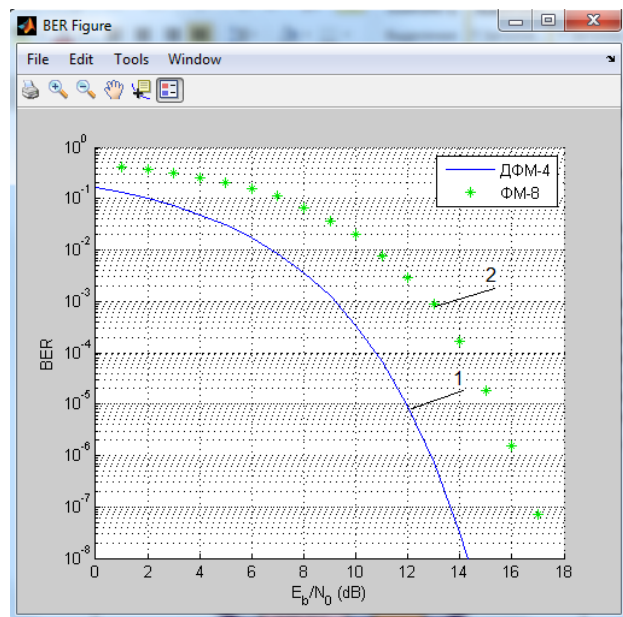


Рис. 16. Криві завадостійкості отримані для сигналів типу ДФМ-4 та ФМ-8

Таким чином з рис. 12 слідує, що вхідний маніпульований сигнал після прямого перетворення Фур'є (FFT) проходить через середовище з передавальною функцією (19), а далі виконується зворотне перетворення (IFFT). Такий підхід наглядно описує процес поширення оптичного поля в світловоді з заданим впливом дисперсії. Дослідження спрямовані на пошуку механізмів підвищення ефективності оптичних телекомунікаційних мереж виконаних за технології щільного спектрального розподілення каналів (DWDM). Тут особливий вплив має хроматична складова дисперсії $D(\lambda)$ на довжині хвилі 1,55 мкм яку ми вибрали для проведення моделювання. Коефіцієнт хроматичної дисперсії згідно до вимог ITU-T G.652 складає +17–18 пс/нм·км. Довжину лінії обирали 100 км, коефіцієнт затухання – 0,35 дБ/км на заданій довжині хвилі. В схемі після диференційного кодування [16–19], підсистема “Signal Unit&Coder” відбувається модуляція оптичної носійної, блок “Signal Generator” у підсистемі “Optical modulator”, фрагмент якої представлений на рис. 12 б. Після оптичного каналу сигнал потрапляє на когерентний демодулятор. На рис. 13–15 представлено констеляційні діаграми для сформованих багатопозиційних сигналів, око-діаграма. Окремо, на рис. 16 приведені криві завадостійкості оптичної телекомунікаційної системи.

Висновки

Отже, підсумовуючи викладене, варто відмітити наступні результати досліджень:

1. Запропоновано схеми формування сигналів багатопозиційної фазової маніпуляції для оптичних

телекомунікаційних систем передачі інформації.

2. Розроблені формувачі маніпульованих сигналів представляють собою паралельне з'єднання електрооптичних модуляторів, фазові зсуви в яких керуються цифровими інформаційними послідовностями.

3. Отримані математичні моделі для формалізованого опису роботи електрооптичних модуляторів для формування сигналів в телекомунікаційних системах.

4. Розроблено імітаційну схему оптичної телекомунікаційної системи із цифровими багаторівневими методами модуляції ФМ-4 та ФМ-8.

5. Порівняння отриманих форматів модуляції проведено за констеляційними діаграмами та око-діаграмою. ФМ-4 більш стійка до спотворень при передачі інформації. ФМ-8 кодується трьома бітами з рівномірним фазовим зсувом і створює можливості для підвищення швидкості передачі даних оптоелектронними засобами.

6. З отриманих кривих завадостійкості встановлюємо, що ДФМ-4 має енергетичний вигравш перед ФМ-8. Для рівня ймовірності бітової помилки $BER=10^{-7}$ вигравш сягає наближено – 3,3 дБ.

Література

1. Бойко Ю.М. Особливості визначення затухання при оптичній рефлектометрії волоконних світловодів / Ю.М. Бойко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 2. – С. 82–90.
2. Бойко Ю.Н. Механизмы прохождения прямого тока в фотодиодах Au-CdTe с модифицированной поверхностью / Ю.Н. Бойко, В.П. Махний // Физика и техника полупроводников. – Киев. – 2009. – № 5. Т. 43. – С. 630–632.
3. Т. Tamir, Integrated optics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1975. 343 p.
4. Суэмацу Я. Основы оптоэлектроники / Я. Суэмацу, С. Катока ; пер. с яп. – М. : Мир, 1988. – 288 с.
5. Окоси Т. Волоконно-оптические датчики / Т. Окоси, К. Окамото ; пер. с яп. – Л. : Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
6. Шинкарук О.М. Основи функціонування багатоканальних систем передачі інформації : навч. посіб. для ВНЗ / О.М. Шинкарук, Ю.М. Бойко, І.І. Чесановський. – Хмельницький : ХНУ, 2011. – 231 с.
7. Бойко Ю.М. Аналіз цифрових методів модуляції/демодуляції в системах зв'язку та передачі інформації / Ю.М. Бойко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – № 1. – С. 99–103.
8. Шинкарук О.М. Приймання та оброблення сигналів : навч. посіб. для ВНЗ / О.М. Шинкарук, В.І. Правда, Ю.М. Бойко. – Хмельницький : ХНУ, 2013. – 365 с.
9. Juliy Boiko, Victor Stetsiuk, Victor Michan, "Improving noise immunity of QPSK demodulation of signals in digital satellite communication systems", *TCSET'2012 IEEE*, Feb., Lviv – Slavsko, pp. 257.
10. J.M. Boiko, Improving effectiveness for processing signals in data transmission channels with phase manipulation. 23rd International *IEEE* Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology", Sevastopol, September 9–13, pp. 262–263.
11. Бойко Ю. М. Способи підвищення завадостійкості оброблення сигналів з фазовою маніпуляцією у цифрових супутникових каналах передавання інформації / Ю.М. Бойко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 6. – С. 144–156.
12. F. Devaux, Y. Sorel and J. F. Kerdiles, "Simple measurement of fiber dispersion and of chirp parameter of intensity modulated light emitter", *Journal of Lightwave Technology*, December 1993, vol. 11, pp. 1937–1940.
13. Oleg Shynkaruk, Juliy Boiko, Oleksander Eromenko, "Measurements of the energy gain in the modified circuit signal processing unit", *TCSET'2016 IEEE*, Feb., Lviv – Slavsko, pp. 582–585.
14. Бойко Ю. М. Проблеми синтезу пристроїв тактової синхронізації приймачів супутникових телекомунікаційних систем передачі інформації / Ю.М. Бойко, О.І. Єрьоменко // Вісник НТУУ КПІ. Телекомунікації, радіолокація і навігація, електроакустика. – К., 2014. – № 58. – С. 55–66.
15. Бойко Ю. М. Підвищення завадостійкості блоків оброблення сигналів супутникових засобів телекомунікацій на основі модифікованих схем синхронізації / Ю.М. Бойко // Вісник НТУУ КПІ. Телекомунікації, радіолокація і навігація, електроакустика. – К., 2015. – № 61. – С. 91–107.
16. Бойко Ю.Н. Моделирование устройства синхронизации на полифазном интерполяторе в средствах телекоммуникаций / Ю.Н. Бойко // Знание : сб. статей НИЦ. – Харьков, 2016. – Часть 1. – С. 70–77.
17. J. M. Boiko, A. I. Eromenko, Improvements Encoding Energy Benefit in Protected Telecommunication Data Transmission Channels. *Communications. Science Publishing Group, USA*. Vol. 2, No. 1. – P. 7–14. doi: 18.11648/j.com.20140201.12.
18. Бойко Ю.М. Можливості турбокодів щодо підвищення енергетичного вигравшу в каналах передавання інформації / Ю.М. Бойко // Зв'язок. – К., 2016. – № 2. – С. 16–25.
19. Anatoliy Semenko, Natalia Bokla, Andriy Shokotko, Vitaliy Lusenko, "Construction of microwave link using channel code division based on modified pseudorandom Gold sequences", *TCSET'2016 IEEE*, Feb., Lviv – Slavsko, pp. 843–847.

ADJUSTMENT OF A POSITIVE INTEGER PARAMETER UNKNOWN TO AN INTERVAL WITH CONSTANT BOUNDARIES BASED ON EXPERT ESTIMATIONS WHOSE AVERAGE-LIKE VALUE IS UPPER-LIMITED TO THE PARAMETER

Adjustment of an unknown parameter relating to expert procedures and estimations is represented. The parameter is a positive integer. Boundaries of an interval enclosing the parameter's value are fixed constants. The goal is to develop a parameter adjustment algorithm based on expert estimations, wherein an average-like value of those estimations must be not greater than the parameter. First off, a simpler adjustment algorithm is developed. This is the hard adjustment, wherein an inequality with the parameter is checked and a subsequent mean dichotomy is fulfilled. If the inequality, in which the average-like value must be not greater than the parameter, turns false then it implies that the right end has been taken too small. And then the simplest correction becomes dragging it to the top right. The soft adjustment algorithm corrects it smarter dragging it to some value which was previously set to be the current parameter's value. Because of the average-like value of expert estimations is upper-limited to the parameter, dichotomy is fulfilled by the prioritized shift to the right. Both algorithms provide an early stop condition, when the average-like value is approximately equal to the parameter's value and it is not greater than the parameter for a row of cases. The hard adjustment algorithm should be applied in fields of poor knowledge or with less proficient experts. The soft adjustment algorithm fits strong experience and highly proficient experts.

Keywords: positive integer parameter adjustment, expert procedure, expert estimations, tolerance.

В. В. РОМАНЮК
Хмельницький національний університет

ПРИПАСУВАННЯ НЕВІДОМОГО ДОДАТНОГО ЦІЛОЧИСЕЛЬНОГО ПАРАМЕТРА У ФОРМІ ІНТЕРВАЛУ З ПОСТІЙНИМИ ГРАНИЦЯМИ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК, ЧИС ПОДІБНЕ ДО СЕРЕДНЬОГО ЗНАЧЕННЯ ОБМЕЖЕНО ДАНИМ ПАРАМЕТРОМ ЗВЕРХУ

Представляється припасування невідомого параметра, що відноситься до експертних процедур й оцінювань. Параметр є додатним цілим числом. Границі інтервалу, котрий включає значення параметра, є відомими константами. Мета полягає у розробці алгоритму припасування параметра на основі експертних оцінювань, де подібне до середнього значення цих оцінювань має бути не більшим за даний параметр. Перш за все, розробляється алгоритм простішого припасування. Це — жорстке припасування, де перевіряється одна нерівність з даним параметром, та в результаті виконується серединна дихотомія. Якщо ця нерівність, в якій подібне до середнього значення має бути не більшим за параметр, виявляється хибною, то це означає, що правий кінець був узятий занадто малим. І тоді відбувається найпростіша корекція зі збільшенням відтягуванням праворуч. Алгоритм м'якого припасування корегує більш витончено з відтягуванням до деякого значення, яке попередньо вже було поточним значенням параметра. Через те, що подібне до середнього значення експертних оцінювань обмежено зверху даним параметром, дихотомія виконується за пріоритетним зсувом праворуч. Обидва алгоритми надають умову ранньої зупинки, коли подібне до середнього значення приблизно дорівнює значенню параметра і воно не більше за цей параметр протягом декількох випадків поспіль. Алгоритм жорсткого припасування має застосовуватись у галузях з низьким рівнем знань або з менш кваліфікованими експертами. Алгоритм м'якого припасування відповідає ґрунтовному досвіду та висококваліфікованим експертам.

Ключові слова: припасування додатного цілочисельного параметра, експертна процедура, експертні оцінки, допуск.

Adjustment of positive integers

Almost every field of study has its integer parameters whose values are not calculated or deduced directly, but are assigned by experience. Just as experience is building up, the integer parameter's value is assigned more accurate. Then the parameter unknown to an interval with constant boundaries, if any, is said that it is adjusted. The most relevant fields concerning much adjustment of positive integers are computer science [1, 2] and socio-environmental statistics [3, 4], which both still require huge amount of expert experience. In particular, statistical approximators like convolutional neural networks [5, 6] have a lot of integer hyperparameters [7, 8]. Their lower boundaries are obviously fixed (e. g., minimal number of filters, dimension filter shape, max-pooling size), and upper boundaries are limited as well. Adjustment of those positive integers is similar to that in other fields: starting off the average-near integers (like setting the hidden layer neuron number in two-layer perceptron [9]), they then are refined based on new problems solved with older integers. The refinement is fulfilled owing to data of expert procedures or test statistics. Commonly, the adjustment comes from one of the boundaries towards the second boundary.

Known approaches to adjust positive integers

The key approach to adjusting a positive integer is its successive refinement on the basis of experiments [6, 7, 10, 11], tests [2, 6, 7, 9, 12, 13], measurements [14, 15], expert procedures [3, 4, 16, 17], etc. The pivot point is an average-like value drawn from those procedures compared to its previous state (value). Due to that the parameter is integer and it is unknown to an interval with constant boundaries, the set G of all its possible values is finite. This warrants another adjustment approach, which contemplates random selection of the parameter's values from the set G , whereupon the most successful values are retained constituting the next set $G_* \subset G$ by $G_* \cap G = G_*$ [3, 6, 8, 9, 13, 17]. Thus, the initial set G is narrowed step by step until a single value is retained.

Drawbacks of these known approaches are their weak theoretical substantiation and specificity focus. There is no unique routine of adjustment. Moreover, due to that basic experimental procedure often changes (for instance, datasets for training and testing convolutional neural networks), the pivot point is drawn vaguer and unclear [3, 9].

Goal and bullets to be accomplished in order to meet it

The stated drawbacks induce the goal which is to develop an algorithm of adjusting a positive integer parameter unknown to an interval with constant boundaries. For definiteness, the adjustment shall be based on expert estimations. Besides, an average-like value of those estimations shall be not greater than the parameter.

In order to meet the goal, there are four bullets to be accomplished:

1. A simple adjustment algorithm is developed. Actually, it should rather be the simplest one, to be a starting routine which can be modified easier if necessary. The simple adjustment algorithm should regard long-term procedures and have an early stop condition when the pivot point comes stable enough.

2. The developed algorithm is modified so that it could be softer when the pivot point comes greater than the parameter, though previously it was less than or equal to the parameter. The simpler adjustment algorithm should be a particular case of the modified algorithm.

3. Application of the suggested adjustment is briefly and clearly described. This is an appendix to the adjustment algorithms. The application must clarify when simpler and softer algorithms should be preferably used.

4. The suggested adjustment is discussed for revealing its merits and demerits. The demerits, if any, will help in outlining further work more pragmatically, to possibly improve the adjustment concerning specifically intricate fields and their problems.

Hard adjustment of the integer parameter

Denote the parameter's value by γ , $\gamma \in \mathbb{N}$. Let $\gamma_{\max}$ and $\gamma_{\min}$ be the upper and lower boundaries, respectively. By the convention, $\gamma_{\max} \in \mathbb{N}$ and $\gamma_{\min} \in \mathbb{N}$. Basically, an average-like value a of expert estimations is upper-limited to the parameter, and so the inequality

$$a \leq \gamma \quad (1)$$

is conceptual and crucial. Value $a \in [\gamma_{\min}; \gamma_{\max}]$ and it does not have to be an integer, because expert estimations are usually diverse and manipulations over them (even if they are integer numbers) do not always give integers.

Throughout expert procedures, γ is rendered by a . Let the number of expert procedures be limited to $Q_{\max}$, $Q_{\max} \in \mathbb{N} \setminus \{1\}$. And let tolerate a row of Q^* cases when a is approximately equal to γ , but inequality (1) holds, where $Q^* \in \mathbb{N} \setminus \{1\}$ and $Q^* \leq Q_{\max}$.

Before the first procedure starts, the parameter's value is set in the roughest manner being the simplest ever. This is just the mean of $\gamma_{\max}$ and $\gamma_{\min}$. If

$$\frac{\gamma_{\max} + \gamma_{\min}}{2} \in \mathbb{N} \quad (2)$$

then the parameter's value is set to

$$\gamma = \frac{\gamma_{\max} + \gamma_{\min}}{2}. \quad (3)$$

Otherwise, if membership (2) is false,

$$\gamma = \frac{\gamma_{\max} + \gamma_{\min} + 1}{2}. \quad (4)$$

It is worth noting that a new point γ cannot be closer to a than to the obsolete value of γ , which is $\gamma_{\max}$ (before the first procedure). The reason is that we cannot squeeze the uncertain interval too much to the left, or else inequality (1) may be violated. Let this reason be called the right-side priority.

Inequality (1) is checked always after the q -th procedure is executed and its value a based on experts' estimations is calculated, $q = \overline{1, Q_{\max}}$. If (1) is true then, similarly to (3) or (4), a new value of γ is found by the right-side priority. However, inequality

$$\gamma - a < 2 \quad (5)$$

along with inequality (1) means that the current value of γ is not changed (Figure 1). If (5) is false then it is

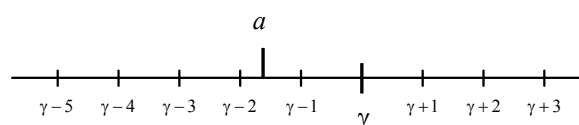


Figure 1. The case when both inequalities (1) and (5) are true, and the current value of γ is not changed due to $\gamma-1$ is closer to a than to γ , so changeover to $\gamma-1$ would have broken the right-side priority

checked on whether a is approximately equal to γ (or whether they are too close) using some tolerance δ . If

$$\frac{\gamma - a}{\gamma_{\max} - \gamma_{\min}} < \delta \quad (6)$$

then, again, a is said to be approximately equal to γ (these points are too close), and the current value of γ is not changed. If (6) is false, then, due to the right-side priority, a new value of γ is found as the mean of the obsolete value of γ and the integer part of a increased by either 1 or 2. If

$$\frac{\gamma + \varphi(a) + 1}{2} \in \mathbb{N} \quad (7)$$

by the function $\varphi(x)$ returning the integer part of real number x , then

$$\gamma_{\text{new}} = \frac{\gamma + \varphi(a) + 1}{2} \quad (8)$$

and $\gamma = \gamma_{\text{new}}$. Otherwise, if membership (7) is false, another 1 is added:

$$\gamma_{\text{new}} = \frac{\gamma + \varphi(a) + 2}{2} \quad (9)$$

and $\gamma = \gamma_{\text{new}}$. Thus the new value of γ is always closer to the obsolete value of γ than to a . This is illustrated with Figure 2. An exception occurs when a happens to be integer and distance between the current value of γ and a is an even number. Then the new value of γ is exactly in the middle between the obsolete value of γ and a .

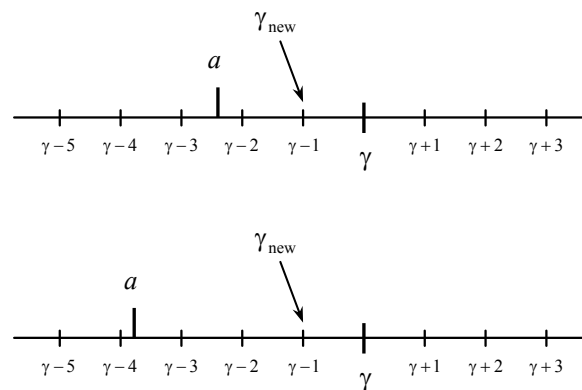


Figure 2. An illustration of why the integer part of a is increased by either 1 (upper sketch) or 2 (lower sketch), while it gives the same $\gamma_{\text{new}} = \gamma - 1$; in the uttermost case, when a goes to $\gamma - 4$, γ_{new} is almost thrice closer to the obsolete value of γ than to a

If inequality (1) is false then it implies that the right end has been taken too small. The simplest correction is to drag it to the top right. So if

$$\frac{\gamma_{\max} + \varphi(a) + 1}{2} \in \mathbb{N} \quad (10)$$

then

$$\gamma = \frac{\gamma_{\max} + \varphi(a) + 1}{2} \quad (11)$$

Otherwise, if membership (10) is false, another 1 is added, similarly to that in (9):

$$\gamma = \frac{\gamma_{\max} + \varphi(a) + 2}{2} \quad (12)$$

An algorithm of such simple adjustment (hard adjustment, according with the said top-right-correction) uses the counter q^* for number of a-row-cases when a is approximately equal to γ , i. e. inequality (1) holds along with that either inequality (5) or inequality (6) is true (Figure 3). This counter is set back to zero if either inequality (1) is false or both inequalities (5) and (6) occur false. As soon as a row of Q^* cases in which a happened approximately to be equal to γ is scored, the algorithm states that γ is adjusted owing to that (the integer part of) a is too close to γ for the Q^* -th consecutive time. This is an approximation to statistical regularity [3, 4, 6, 7, 11]. It looks like a reason for early stop. And it becomes a statistically valid stopper for sufficiently great Q^* .

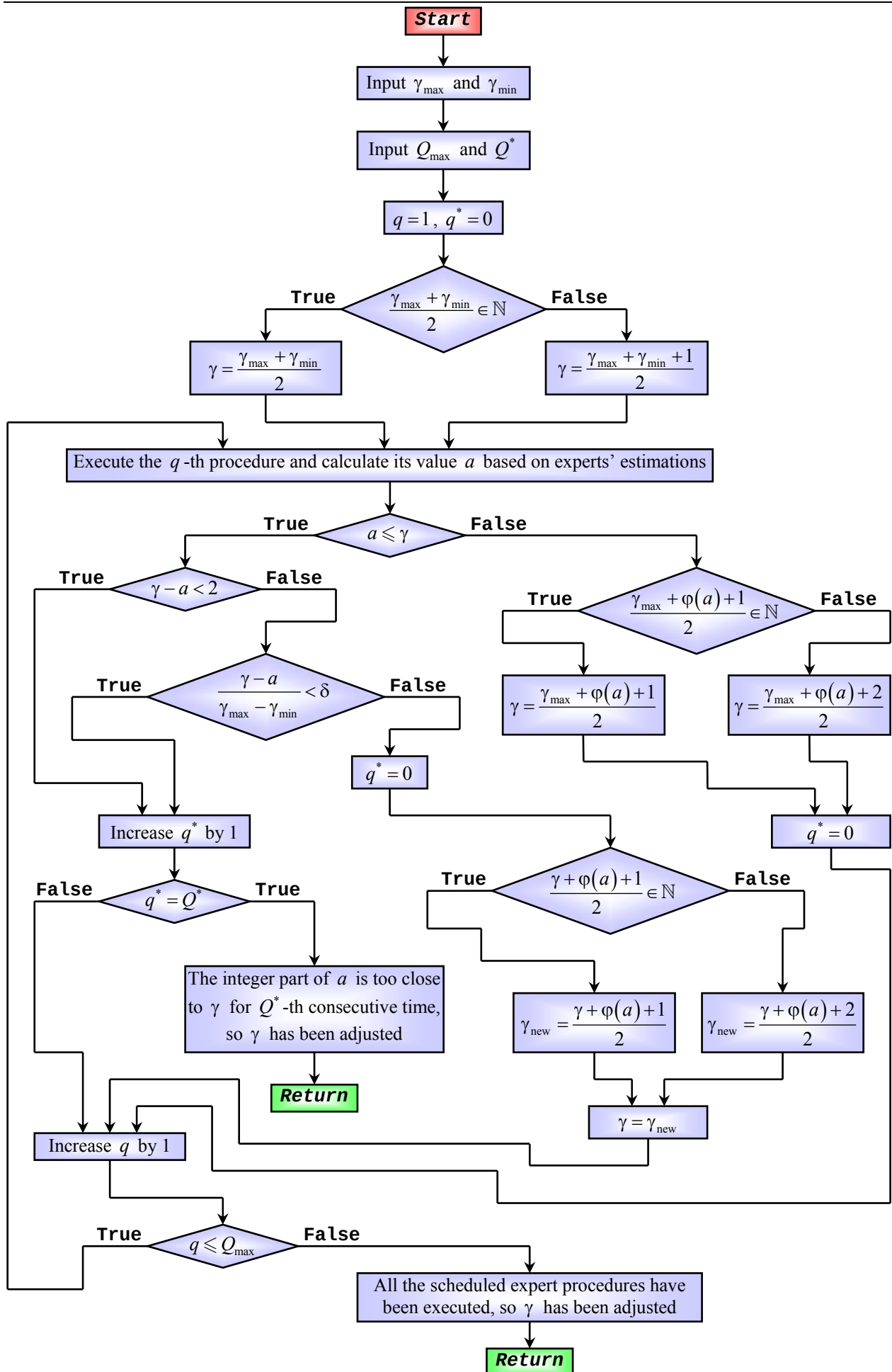


Figure 3. An algorithm of the positive integer parameter hard adjustment (tolerance is preliminarily assigned by default)

The second possibility of the algorithm's return is to pass through all the procedures. Value of γ is said to have been adjusted when all the schedule expert procedures are executed. Such a conclusion relies on that number $Q_{\max}$ is assigned appropriately great. However, $Q_{\max}$ may be assigned very small under the corresponding constrained conditions (short time, difficulties of expert procedure organization, low-confident experts, and so forth). Then, anyway, the algorithm's return should be accepted as it is, because of the conditions which cannot be amended straight off.

Soft adjustment of the integer parameter

The algorithm in Figure 3 appears really rough when inequality turns false for a being much closer to $\gamma_{\min}$, and thus it is much farther from $\gamma_{\max}$. For avoiding such situations leading to paradoxical corrections, we can take the appropriate mean between a and some value of γ which was previously set to be the current parameter's value. This is going to be a modification of the hard adjustment algorithm.

Let enumerate all values of γ which were previously set, but now they are already obsolete. As it was mentioned above, the first obsolete value is $\gamma_{\max}$, i. e.

$$\gamma_{\text{obsolete}}^{(1)} = \gamma_{\max}.$$

At the start, the counter for obsolete values is set to 1.

For the modification of the hard adjustment algorithm in Figure 3, the algorithmic branch with the true inequality (1) remains almost the same. If inequalities (5) and (6) are false, then either (8) or (9) is calculated depending on membership (7). But before setting $\gamma = \gamma_{\text{new}}$, the obsolete value counter is increased by 1 and the next obsolete value is given:

$$\gamma_{\text{obsolete}}^{(k)} = \gamma.$$

If inequality (1) is false, then inequality

$$a \leq \gamma_{\text{obsolete}}^{(k)} \quad (13)$$

is checked next. The obsolete value counter is decreased by 1 while inequality (13) turns false. At this stage, the obsolete values, whose counter is decreased, are flushed. Decreasing is nonetheless limited owing to

$$a \leq \gamma_{\max} = \gamma_{\text{obsolete}}^{(1)}. \quad (14)$$

Inequality (14) is the worst case occurring after inequality (13) has turned false for a row of cases. This is why no explicit restriction on the obsolete value counter decrement is imposed. As soon as inequality (13) is true, closeness of value a to $\gamma_{\text{obsolete}}^{(k)}$ is checked similarly to checks with inequalities (5) and (6). If

$$\gamma_{\text{obsolete}}^{(k)} - a < 2 \quad (15)$$

then $\gamma = \gamma_{\text{obsolete}}^{(k)}$ by $q^* = 1$ and the next expert procedure is executed, if only number of the already executed procedures is $q < Q_{\max}$. If inequality (15) is false then it is checked on whether a is approximately equal to $\gamma_{\text{obsolete}}^{(k)}$ (or whether they are too close) using the same tolerance δ . If

$$\frac{\gamma_{\text{obsolete}}^{(k)} - a}{\gamma_{\max} - \gamma_{\min}} < \delta \quad (16)$$

then, again, a is said to be approximately equal to $\gamma_{\text{obsolete}}^{(k)}$ (these points are too close), and the current value of γ is set to $\gamma = \gamma_{\text{obsolete}}^{(k)}$. If inequality (16) is false, then, due to the right-side priority, membership

$$\frac{\gamma_{\text{obsolete}}^{(k)} + \varphi(a) + 1}{2} \in \mathbb{N} \quad (17)$$

is checked. If membership (17) holds then

$$\gamma = \frac{\gamma_{\text{obsolete}}^{(k)} + \varphi(a) + 1}{2}. \quad (18)$$

Otherwise, if membership (17) is false, another 1 is added, similarly to that in (9) and (12):

$$\gamma = \frac{\gamma_{\text{obsolete}}^{(k)} + \varphi(a) + 2}{2}. \quad (19)$$

After a new value of γ is calculated by either (18) or (19), the counter for number of a-row-cases, when a is approximately equal to γ , is set back to zero.

An algorithm representing the described adjustment of the positive integer parameter is softer (Figure 4)

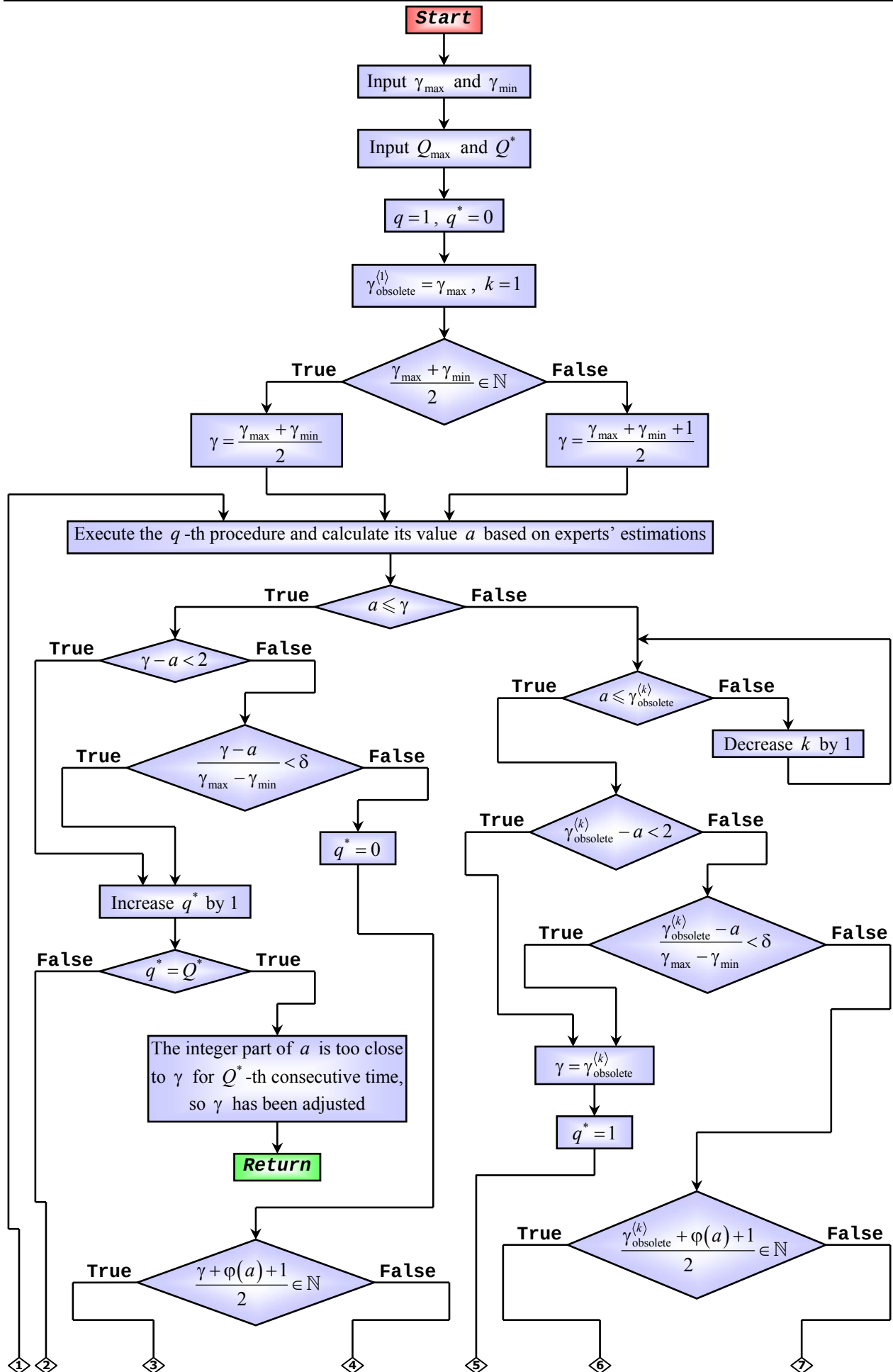


Figure 4. An algorithm representing soft adjustment of the positive integer parameter (beginning)

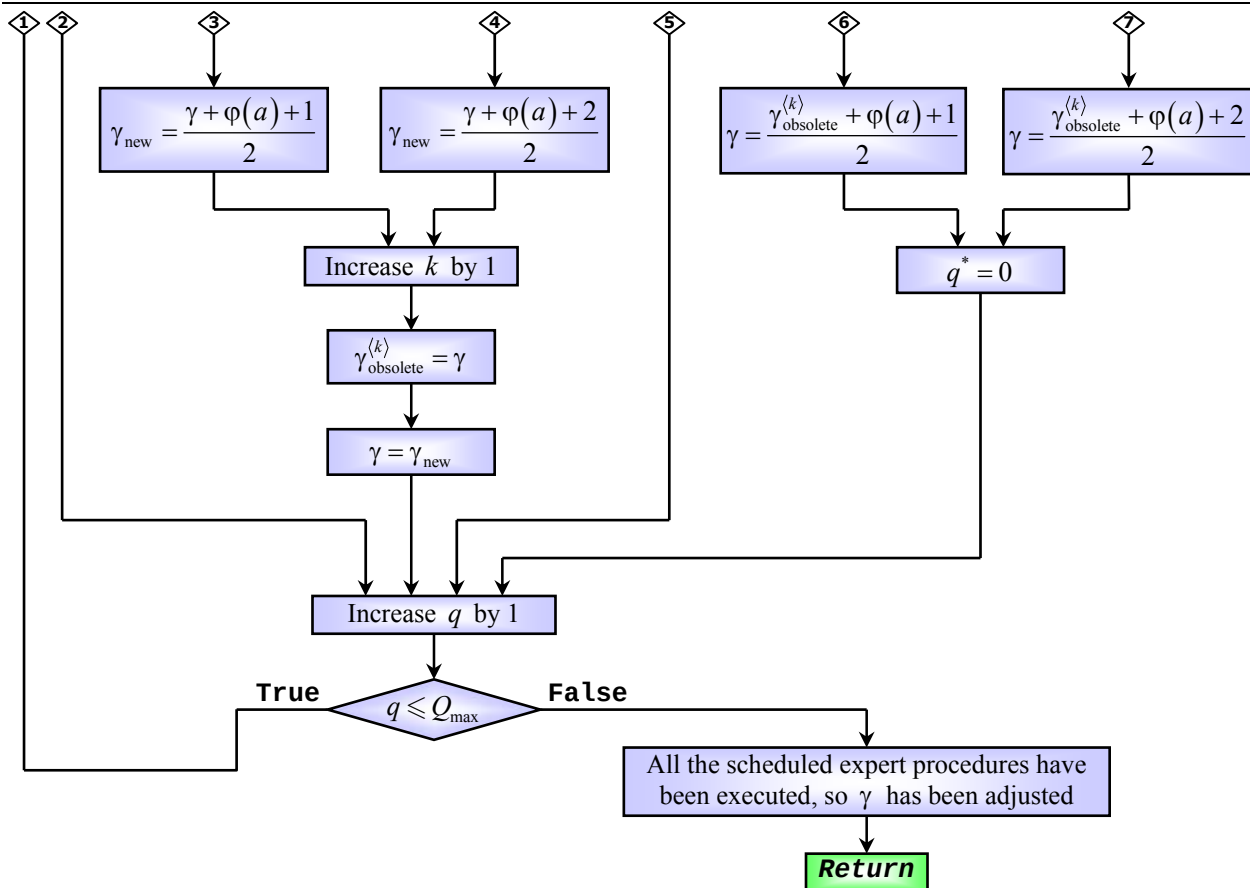


Figure 4. An algorithm representing soft adjustment of the positive integer parameter (completion)

when value a comes greater than the parameter, though earlier inequality (1) was true. The simplest correction dragging it to the top right happens only if inequality (13) turns false for any obsolete value of γ excepting the very first obsolete value $\gamma_{\max}$ giving always-true inequality (14). The soft correction and the algorithmic branch with the false inequalities (5) and (6) adding the new obsolete value both constitute the modification.

Application of the developed algorithms

The hard adjustment should precede the soft one. If some unknown integer parameter cannot be greater than an integer limit, then the developed algorithms fit. For integer hyperparameters of neural networks, an expert procedure is the training and testing on performance (error rate or accuracy). With the current value of γ , a group of neural networks is trained under various integers whose average is roughly equal to γ . Then they are tested, and the worst approximators are excluded, while the best ones are held, and average of their integers is assigned to a .

Such an application is usual for statistical approximators. Applications in other fields need specific interpretations, unless a is an average given straightforwardly by experts' estimations. For non-straightforward obtaining of a , the common feature of the interpretations is a criterion of the estimations, whatever field is. The criterion for neural networks is their performance.

The hard adjustment algorithm should be applied in fields of poor knowledge or with less proficient experts. On the contrary, the soft adjustment algorithm fits strong experience and highly proficient experts. Unfortunately, any strict criterion for choosing either the hard or soft adjustment is incomprehensible yet.

Discussion

A substantial demerit of the hard adjustment is the-top-right-dragging back when inequality (1) turns false and a has been situated very close to $\gamma_{\min}$. So when a is approaching to $\gamma_{\min}$, the soft adjustment algorithm should supersede the hard one. Shifting back to the hard adjustment is possible.

Each algorithm may have its own tolerance δ . But ratio between the hard and soft algorithmic tolerances is not definite. Tolerance in the hard algorithm may be as greater than that in the soft one, as well as lesser. Although formally, according with inequality (5) and the corresponding algorithmic branch logic,

$$\delta > 2 \cdot (\gamma_{\max} - \gamma_{\min})^{-1}$$

and $\delta < 1$, selection of tolerance is a separate task. To select it simpler, it may be taken as

$$\delta > 3 \cdot (\gamma_{\max} - \gamma_{\min})^{-1}$$

what is equivalent to the inequality $\gamma - a < 3$ following the inequality (5) after it turned false.

Maximal number of expert procedures and number of a-row-cases, when a is approximately equal to γ by (1), are assigned beyond the algorithms. Their selection influences on tolerances. Nevertheless, for those numbers assigned sufficiently great, tolerance can be taken as desired. Moreover, the early stop condition becomes statistically valid. This saves time and expert resources.

Conclusion and further work outline

Adjustment of a positive integer parameter is fulfilled by the conceptual condition (1) and subsequent mean dichotomy. Depending on the dichotomic style, hard and soft adjustments are discriminated and used supporting each other. Because of the average-like value of expert estimations is upper-limited to the parameter, dichotomy is fulfilled by the prioritized shift to the right (sketches in Figure 1 and Figure 2).

Algorithms in Figure 3 and Figure 4 are ready-to-run after initializing them with five input parameters. No strict requirements are imposed on those inputs. The boundaries can be assigned artificially exaggerated, letting the interval be looser. The looser interval expects greater number of expert procedures. This is especially suitable for fitting statistical approximators, where number of procedures implying training and testing may be as great as needed.

Further work concerns the inversion of how the parameter limits a result of expert estimations. Then inequality (1) will be reversed. The developed algorithms are the strong basis for solving the reverse adjusting problem. However, a case with limiting from both ends simultaneously is not going to be trivial.

References

1. Reilly E. D. Milestones in Computer Science and Information Technology / E. D. Reilly. — Westport, CT : Greenwood Publishing Group, 2003. — 392 p.
2. Tucker A. B. Computer Science Handbook (2nd ed.) / A. B. Tucker. — Boca Raton, FL : Chapman and Hall/CRC, 2004. — 2624 p.
3. Blalock H. M. Social Statistics / H. M. Blalock. — New York : McGraw-Hill, 1979. — 592 p.
4. Manly B. F. J. Statistics for Environmental Science and Management / B. F. J. Manly. — Boca Raton, FL : Chapman & Hall/CRC, 2008. — 295 p.
5. LeCun Y. Gradient-based learning applied to document recognition / Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, P. Haffner // Proceedings of the IEEE. — 1998. — Vol. 86, Iss. 11. — P. 2278 — 2324.
6. Krizhevsky A. ImageNet classification with deep convolutional neural networks / A. Krizhevsky, I. Sutskever, G. E. Hinton // Advances in Neural Information Processing Systems. — 2012. — Vol. 1. — P. 1097 — 1105.
7. Ciresan D. Flexible, high performance convolutional neural networks for image classification / D. Ciresan, U. Meier, J. Masci, L. M. Gambardella, J. Schmidhuber // Proceedings of the Twenty-Second international joint conference on Artificial Intelligence. — 2011. — P. 1237 — 1242.
8. Guo Q. Convolutional feature learning and Hybrid CNN-HMM for scene number recognition / Q. Guo, F. Wang, J. Lei, D. Tu, G. Li // Neurocomputing. — 2016. — Vol. 184. — P. 78 — 90.
9. Romanuke V. V. Setting the hidden layer neuron number in feedforward neural network for an image recognition problem under Gaussian noise of distortion / V. V. Romanuke // Computer and Information Science. — 2013. — Vol. 6, N. 2. — P. 38 — 54.
10. Gratie C. Complete characterization for the fit-preserving data refinement of mass-action reaction networks / C. Gratie, I. Petre // Theoretical Computer Science. — 2016. — Vol. 641. — P. 11 — 24.
11. DiCiccio T. J. Quantifying nuisance parameter effects via decompositions of asymptotic refinements for likelihood-based statistics / T. J. DiCiccio, T. A. Kuffner, G. A. Young // Journal of Statistical Planning and Inference. — 2015. — Vol. 165. — P. 1 — 12.
12. Xia S. The application of orthogonal test method in the parameters optimization of PEMFC under steady working condition / S. Xia, R. Lin, X. Cui, J. Shan // International Journal of Hydrogen Energy. — 2016. — Vol. 41, Iss. 26. — P. 11380 — 11390.
13. Marinoni M. Identification of groundwater flow parameters using reciprocal data from hydraulic interference tests / M. Marinoni, F. Delay, P. Ackerer, M. Riva, A. Guadagnini // Journal of Hydrology. — 2016. — Vol. 539. — P. 88 — 101.
14. Liljenherte J. Hyperelastic strain measurements and constitutive parameters identification of 3D printed soft polymers by image processing / J. Liljenherte, P. Upadhyaya, S. Kumar // Additive Manufacturing. — 2016. — Vol. 11. — P. 40 — 48.
15. Nunes L. C. S. Parameters identification of polymer concrete using a fracture mechanics test method and full-field measurements / L. C. S. Nunes, J. M. L. Reis, H. S. da Costa Mattos // Engineering Fracture Mechanics. — 2011. — Vol. 78, Iss. 17. — P. 2957 — 2965.
16. Zhou Y. Bayesian network approach to multinomial parameter learning using data and expert judgments / Y. Zhou, N. Fenton, M. Neil // International Journal of Approximate Reasoning. — 2014. — Vol. 55, Iss. 5. — P. 1252 — 1268.
17. Fu C. A group evidential reasoning approach based on expert reliability / C. Fu, J.-B. Yang, S.-L. Yang // European Journal of Operational Research. — 2015. — Vol. 246, Iss. 3. — P. 886 — 893.

ПРОДУКТИВНІСТЬ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ ТА АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ

В роботі виконані експериментальні дослідження комплексного впливу апаратних засобів, топології, програмного забезпечення та завантаженості на продуктивність мережі. Досліджувались мережі на базі репітера та комутатора зіркоподібної топології та топології типу послідовний ланцюг. Отримані графічні залежності пропускної здатності від кількості робочих станцій. Відмічено, що характер залежності для всіх розглянутих пристроїв практично не відрізняється. Не виявлено суттєвого впливу кількості комутаторів на пропускну здатність мережі типу послідовний ланцюг. Показано, що в мережі комп'ютерів з різними операційними системами швидкості передачі суттєво відрізняються. Наведено графіки впливу кількості комп'ютерів з різними операційними системами на пропускну здатність.

Ключові слова: пропускну здатність, ефективна швидкість, локальна мережа, репітер, комутатор, Wi-Fi-роутер.

V.L. MARCHENKO

Khmelnytsky National University

LAN PERFORMANCE AND HARDWARE

Experimental researches of complex influence of vehicle facilities, topology, software and work-load on a network performance are in-process executed. Networks were investigated on the base of repeater and switchboard of star-shaped topology and topology of type successive chain. Graphic dependences of carrying capacity are got on the amount of the work stations. It is marked that character of dependence for all considered devices does not differ practically. It is not discovered substantial influence of amount of switchboards on the carrying capacity of network of type successive chain. It is shown that in the network of computers with the different operating systems of speed of transmission differ substantially. Resulted graphic arts of influence of amount of computers with the different operating systems on a carrying capacity.

Keywords: bandwidth, the effective speed LAN, repeater, switch, Wi-Fi-router.

Вступ

Продуктивність локальних обчислювальних мереж є напевно одним з найважливіших параметрів після забезпечення функціонального призначення мережі. Вона впливає на швидкодію мережевих баз даних, здійснення розподілених обчислень, роботу в глобальних мережах. Серед факторів, що впливають на продуктивність називають тип мережевого протоколу, довжину кадру, ступінь завантаження мережі, величину Тср вікна та багато інших. При цьому далеко не завжди є приклади кількісної оцінки цих впливів. В реальних комп'ютерних мережах виникають такі комбінації програмних та апаратних факторів, вплив яких на продуктивність мережі передбачити важко. Тому доцільним є виконання експериментальних досліджень в реальних умовах, де можна виявити комплексний вплив різних факторів.

Попередні дослідження

Природно, що вивчення продуктивності мереж та пропускної здатності пристроїв, що лежать в їх основі не позбавлено уваги [1–4]. В роботі [2] здійснений аналіз низки факторів, які певною мірою впливають на ефективну швидкість та пропускну здатність мережі. Наведені обчислення свідчать про суттєвий вплив величини кадру, наведено графіки впливу топології мережі, параметрів квітування та інше. Експериментальні дослідження продуктивності мережі на базі концентратора наведено в роботі [3]. Показано вплив на швидкість передачі величини файлу та кількості робочих станцій. Вплив формату файлу, порядку під'єднання комп'ютерів в мережі на базі комутаторів наведено в роботі [4].

Постановка задачі

Виходячи з того, що на продуктивність локальної комп'ютерної мережі впливають особливості апаратних засобів, програмного забезпечення та архітектури мережі в даній роботі ставиться задача експериментальної перевірки інтегрованого впливу цих параметрів.

Основна частина

Дослідження виконувались в мережах зіркоподібної топології на базі повторювача Repiter 10 – Base T, комутатора та Wi-Fi-роутеру. Більш складні структури створювались за топологією «послідовний ланцюг». Продуктивність обчислювалась за ефективною швидкістю передачі інформації з локальних комп'ютерів.

На рисунку 1 наведено схему мережі з п'ятьма робочими станціями, які поєднані репітером. В ході досліджень визначався вплив кількості робочих станцій, які одночасно здійснюють передачу файла величиною 15 Мб. Передача здійснювалась на один комп'ютер одночасно різною кількістю робочих станцій від однієї до чотирьох.

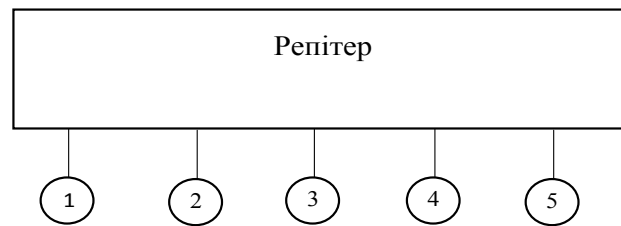


Рис. 1. Схема локальної мережі на базі репітера

Результати досліджень в графічному вигляді представлені на рис. 2. Отримані дані свідчать про те, що загальна швидкість передачі всіма робочими станціями через один порт в розглянутому діапазоні кількості робочих станцій є незмінною і дорівнює швидкості передачі однією станцією 8,2 Мбіт/с. Цікавим є те, що ця швидкість відрізняється від аналогічних результатів, наведених в роботі [3], де ефективна швидкість дорівнювала 6,2 Мбіт/с. Причиною цього може бути різна величина кадру, яка застосовувалась в даних і попередніх дослідженнях. Якщо швидкість 6,2 Мбіт/с відповідає мінімальній довжині кадру 500 байт, то для швидкості 8,2 Мбіт/с довжину кадру можна визначити з розрахунків, аналогічних наведеним в роботі [2]. Ця величина приблизно становить 1200 байт. Виходячи з того, що подібні величини швидкостей отримані для різних версій операційних систем Windows, починаючи з Windows XP, а налаштування параметрів протоколу TCP не здійснювалося, відмінністю попередніх досліджень від теперішніх є використання в попередніх дослідженнях Windows 98. Стек протоколів TCP/IP, який поставляється з операційною системою, в попередніх і в сучасних версіях операційних систем налаштований на різну величину кадру, як логічно припустити.

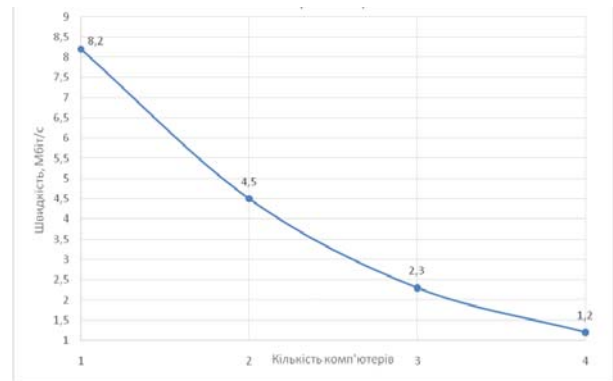


Рис. 2. Залежність ефективної швидкості передачі від кількості робочих станцій

Схожі результати отримано для мережі на базі комутатора Ethernet, з аналогічною схемою підключення робочих станцій. Був використаний комутатор типу D-Link DES-1016A, який має швидкість передачі даних 100 Мбіт/с, напівдуплекс. Результати цих досліджень наведено на рис. 3. В ході досліджень відмічалось відмінність між швидкостями передачі на окремих станціях. Відмінність становила 10 - 20%. Середня швидкість на вихідному порту комутатора дорівнювала 84 Мбіт/с і змінювалась в тих же межах.

В той же час швидкість одночасної передачі паралельними потоками різними парами комп'ютерів



Рис. 3. Залежність швидкості передачі від кількості робочих станцій

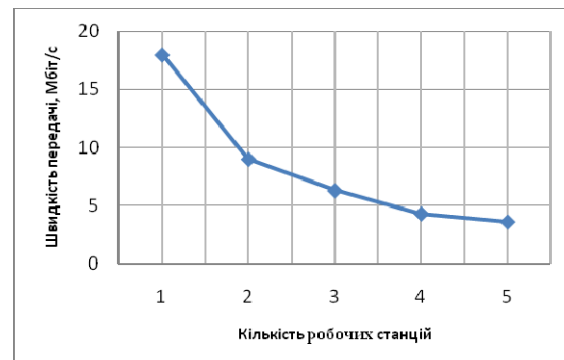


Рис. 4. Залежність швидкості передачі через Wi-Fi - роутер від кількості комп'ютерів, що одночасно здійснюють передачу

практично не залежить від кількості пар і становить 80 Мбіт/с. Отже, пропускна здатність комутатора пропорційна половині кількості портів.

Аналогічні результати отримано і для безпроводної мережі на базі Wi-Fi-роутера (рис. 4). Характер цієї залежності майже не відрізняється від розглянутих попередньо але величина ефективної швидкості суттєво нижча, ніж в комутатора та дещо вища, ніж в репітера.

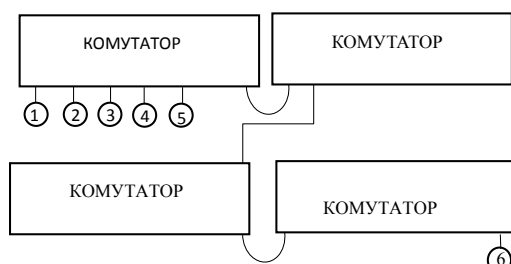


Рис. 5. Мережа типу послідовний ланцюг на базі комутаторів



Рис. 6. Результати визначення швидкостей

Виконано дослідження пропускної здатності мереж складної топології типу «послідовний ланцюг» на базі комутаторів. Кількість комутаторів в схемі мережі змінювалась від одного до чотирьох. Один з варіантів схеми з чотирма комутаторами наведено на рис.5. Робочі станції в кожному з експериментів приєднувались до першого комутатора а одна з них, на яку здійснювалась передача, до останнього. При одночасному передаванні різною кількістю комп'ютерів були отримані залежності, аналогічні наведеним раніше (рис. 6).

Результати практично не відрізняються у випадку використання двох та трьох комутаторів в схемі топології мережі, що свідчить про не суттєві витрати часу на обробку інформації в комутаторі.

Несподіваними виявилися результати дослідження продуктивності мережі, побудованої на комп'ютерах з різними операційними системами. Мережа, побудована на комутаторі поєднувала три стаціонарних комп'ютери з операційною системою Windows XP (рис. 7) та два ноутбуки з операційними системами Windows 8.

Напрями передачі, які розглядались в дослідженнях, та отримані результати визначення швидкостей, наведено в таблиці.

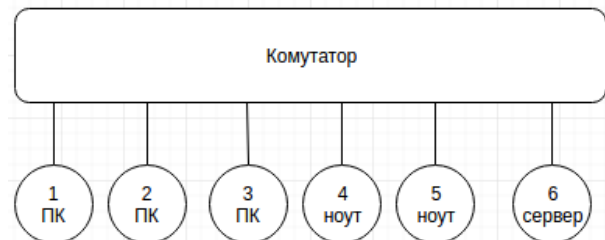


Рис. 7. Схема мережі з різними операційними системами

Таблиця 1

Напрям передачі			
№ експерименту	Стаціонарні ПК	Ноутбуки	Швидкість (Мбіт/с)
1	1 - 6	4 - 6	17 / 48
2	1, 2 - 6	4 - 6	13 , 15 / 47
3	1, 2, 3 - 6	4 - 6	11, 12, 10 / 45
4	1- 6	4, 5 - 6	15 / 39, 41
5	1, 2 - 6	4, 5 - 6	12, 9 / 37, 42
6	1, 2, 3 - 6	4, 5 - 6	10, 13, 9 / 35, 37

Наведені в таблиці дані свідчать про те, що взаємний вплив різних операційних систем робить швидкість передачі даних досить не прогнозованою. Наприклад, наявність в мережі двох комп'ютерів прогнозовано зменшує швидкість на ноутбуці з операційною системою Windows 8 та набагато більше, втричі, зменшує швидкість на стаціонарному комп'ютері. Вплив кількості стаціонарних робочих станцій, які одночасно здійснюють передачу, є менш суттєвим, ніж в мережі з однаковими операційними системами, що явно можна простежити на рис. 8. Змінився і характер залежності, залежність є практично лінійною. Суттєво відрізняється повна швидкість при передачі на один порт комутатора. Якщо при однакових операційних системах повна швидкість є практично не змінною, не залежною від кількості робочих станцій (рис. 3), і становить приблизно 84 Мбіт/с то при різних операційних системах повна швидкість залежить від загальної кількості робочих станцій та від кількості ноутбуків. В мережі з одним ноутбуком швидкість змінюється від 63 Мбіт/с і наближається до 84 Мбіт/с при збільшенні кількості робочих станцій (рис. 9). При наявності в схемі мережі двох ноутбуків загальна швидкість передачі на сервер досягає і навіть перевищує 100 Мбіт/с. Це більше, ніж при передачі одним комп'ютером чи ноутбуком з будь – якою операційною системою при прийнятій довжині кадру та досягає пропускної спроможності порту комутатора.

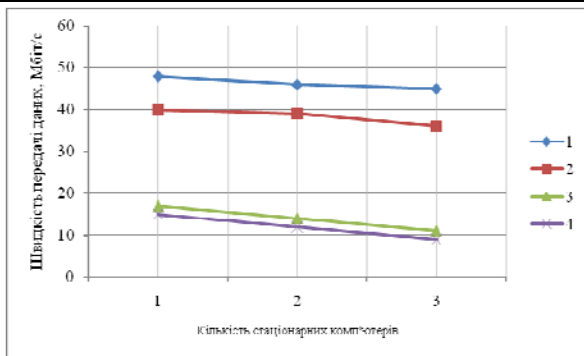


Рис. 8. Залежність швидкості передачі від кількості стаціонарних комп'ютерів в мережі з одним ноутбуком (графіки 1,3) та двома ноутбуками (графіки 2,4)

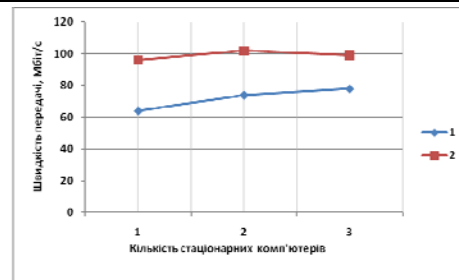


Рис. 9. Графіки повної швидкості передачі 1 – один ноутбук в мережі, 2 – два ноутбуки

Висновки

Отримані результати експериментальних досліджень дають можливість зробити наступні висновки. Сучасні версії операційних систем Windows використовують стек протоколів TCP/IP, який налаштований на довжину кадру, значно більшу, ніж в попередніх версіях операційної системи. В мережах зіркоподібної топології залежність швидкості передачі від кількості комп'ютерів практично не залежить від базового пристрою. При цьому загальна швидкість передачі практично не змінюється. В складних топологіях типу «послідовний ланцюг» на базі комутаторів швидкість практично не залежить від кількості комутаторів. Наявність в мережі різних операційних систем суттєво змінює характер передачі.

Література

1. Олифер И.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / И.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – 3-е изд. – СПб : Питер. 2006. – 958 с. : ил.
2. www.citforum.ru/nets/optimize/locnop_02.shtml
3. Марченко В.Л. Продуктивність мереж зіркоподібної топології / В.Л. Марченко, О. Войтюк // Обчислювальна та вимірювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький : ХНУ, 2011. – № 1. – С. 130–133.
4. Марченко В.Л. Продуктивність локальних обчислювальних мереж / В.Л. Марченко // Обчислювальна та вимірювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький : ХНУ, 2012. – № 3. – С. 75–78.

Рецензія/Peer review : 8.8.2016 р. Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ МЕТАМОРФНИХ ВІРУСІВ В КОРПОРАТИВНІЙ МЕРЕЖІ

В роботі обґрунтовано використання нечіткої класифікації для виявлення метаморфних вірусів у корпоративній мережі. Класифікатор визначення інфікування метаморфним вірусом комп'ютерної системи реалізовано на базі системи нечіткого висновку Мамдані. Розв'язана задача формування множини правил нечіткої системи та функцій приналежності.

Ключові слова: нечітка логіка, обфускація, метаморфний вірус, опкод, вектор схожості копій метаморфних вірусів.

А.О. NICHEPORUK

Khmelnitskyi National University

USE OF FUZZY CLASSIFICATION FOR DETECTION OF METAMORPHIC VIRUS IN THE CORPORATE NETWORK

The paper proved the use of fuzzy classification for detect of metamorphic viruses in a corporate network. Classifier definition of infection metamorphic virus computer system implemented on the basis of fuzzy inference system Mamdani. Solved the problem of forming the set of rules of the fuzzy system and membership functions.

Keywords: fuzzy logic, obfuscation, metamorphic virus, opcode, feature vector of similarity for metamorphic viruses' copies.

Вступ

Однією з головних проблем в галузі комп'ютерної безпеки є розмежування між нормальною та потенційно небезпечною поведінкою програм, що притаманна вірусам, зокрема класу метаморфних вірусів. Проте, отримання результату в чіткій формі, тобто значень вірус – корисна програма, є майже неможливим, у зв'язку з маскуванням вірусних програм під довірені додатки, для приховування своєї присутності в комп'ютерній системі.

У випадку метаморфних вірусів, під поведінкою будемо розуміти не послідовність функціональних дій, що виконують програми в комп'ютерній системі, а функціонування програми на нижчому рівні абстракції, тобто поведінка команд у дизасембльованому вигляді при порівнянні з іншим таким самим дизасембльованим файлом. Це зумовлено використанням у метаморфних вірусах обфускації програмного коду, що проявляється у таких техніках заплутування програмного коду як вставка “команд-сміття”, використання еквівалентних інструкцій та перестановки команд, що дає змогу створювати абсолютно ідентичні копії метаморфного вірусу у плані функціонального навантаження та різні, з точки зору структури файлу.

Постановка завдання

Задача діагностування комп'ютерних систем на наявність метаморфних вірусів передбачає вирішення задачі класифікації. Результатом класифікації є віднесення невідомого об'єкту до класу метаморфних вірусів або до класу довірених додатків, тобто $X \rightarrow y \in \{C_1, C_2\}$, де X – невідома програма, C_1 – метаморфний вірус, C_2 – довірений додаток. В якості вхідних даних для класифікації виступає вектор ознак схожості копій метаморфних вірусів [1]. Проте отримання результату класифікації у чіткому вигляді, тобто $R^c = \{0,1\}$ є складним завданням, у зв'язку з використанням деякими додатками технік обфускації коду, для захисту від копірайту [2], і є лише частковим випадком задачі нечіткої класифікації, де $R^c = [0,1]$.

Таким чином, постає задача віднесення невідомої програми, що задана вектором ознак до одного з класів з деякою функцією належності відповідному класу, тобто провести нечітку класифікацію.

Основна частина

У роботі [1] запропоновано метод виявлення метаморфних вірусів у корпоративній мережі на основі модифікованих емуляторів. Зазначений метод передбачає отримання копій метаморфних вірусів, шляхом емуляції підозрілої програми на кожному хості, та їх порівняння з використанням метрики Дамерау-Левенштейна. Використання метрики Дамерау-Левенштейна зумовлено використанням метаморфними вірусами обфускації програмного коду, що проявляється у застосуванні вставок інструкцій, які не впливають на загальний алгоритм виконання вірусної програми (“команд-сміття”), перестановку інструкцій, видалення та заміну інструкцій.

З огляду на механізми створення метаморфними вірусами власних копій, що використовують техніки вставки, видалення та переміщення власних інструкцій, для пошуку схожості зразками коду до емуляції та після використовується дистанція Дамерау – Левенштейна.

Для прийняття рішення про інфікування метаморфним вірусом системи необхідно вирішувати задачу нечіткої класифікації.

З кожного хоста в корпоративній мережі надходить вектор ознак схожості копій метаморфних вірусів на сервер для здійснення його класифікації. Визначимо вектор ознак наступним чином:

$$\bar{S} = \langle dL, T, D, I, R, M \rangle, \quad (1)$$

де dL – відстань Дамерау – Левенштейна для функціонального блоку між програмами F_p та F_s ;

T – кількість необхідних операцій обміну опкодів для перетворення блоку програми F_p у F_s ($F_p = F_s$);

D – кількість необхідних операцій видалення опкоду;

I – кількість необхідних операцій вставки опкоду;

R – кількість необхідних операцій заміни відповідних опкодів;

M – кількість співпадінь між опкодами в функціональному блоці програми F_p та F_s .

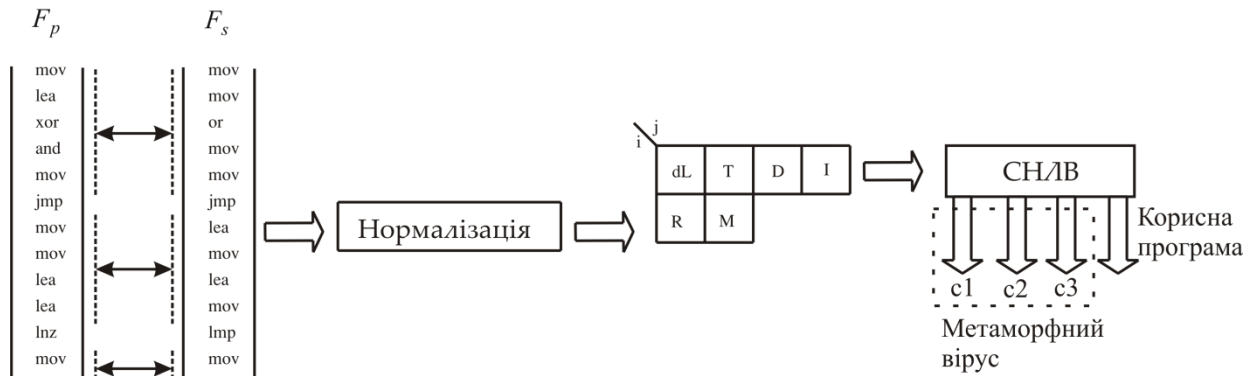


Рис. 1. Схема здійснення класифікації вектора ознак

Нечітка класифікація

В якості вхідних даних для нечіткої класифікації виступає вектор ознак схожості копій метаморфних вірусів, тобто $X = (x_{dL}, x_T, x_D, x_I, x_R, x_M)$. Вихідними даними для системи є класи рішень, що представляють собою множину класів метаморфних вірусів, $Y \in \{C_{NGVCK}, C_{VCL32}, C_{G2}, C_{BP}\}$, де $C_{NGVCK}, C_{VCL32}, C_{G2}$ – класи метаморфних вірусів, що відрізняються між собою інтенсивністю та складністю операцій вставки команд-сміття, переміщення інструкцій та використанням еквівалентних команд; C_{BP} – клас довірених додатків. Тоді нечітким класифікатором буде відображення виду:

$$X = (x_{dL}, x_T, x_D, x_I, x_R, x_M) \rightarrow Y \in \{C_{NGVCK}, C_{VCL32}, C_{G2}, C_{BP}\} \quad (2)$$

Згідно з [4] база правил для нечіткої класифікації задається:

$$R_j = \text{if}(t_{1j} \text{ and } t_{2j} \text{ and } \dots \text{ and } t_{nj} \text{ з вагою } w_j) \rightarrow Y = d_j, \quad j = \overline{1, k}, n = 6 \quad (3)$$

де k – кількість правил у базі;

$d_j \in \{C_{NGVCK}, C_{VCL32}, C_{G2}, C_{BP}\}$ – результат j -го правила (тільки одне значення з множини);

$w_j \in [0, 1]$ – ваговий коефіцієнт, що визначає вагу j -го правила $j = \overline{1, k}$;

t_{ij} – нечіткий терм з множини термів, що описує i -у ознаку вектора схожості копій метаморфних вірусів в j -му правилі, $j = \overline{1, k}, i = \overline{1, 6}$

Для здійснення нечіткої класифікації обчислимо ступінь виконання j -го правила:

$$\mu_j(X) = w_j \cdot (\mu_j(x_{dL}) \wedge \mu_j(x_T) \wedge \mu_j(x_D) \wedge \mu_j(x_I) \wedge \mu_j(x_R) \wedge \mu_j(x_M)), \quad j = \overline{1, k} \quad (4)$$

де $\mu_j(x_i)$ – ступінь приналежності значення x_i нечіткому терму t_{ij} ;

Наступним етапом є розрахунок ступеня приналежності вхідного вектора X до кожного класу $C_{NGVCK}, C_{VCL32}, C_{G2}, C_{BP}$:

$$\mu_{N_x}(Y) = \text{agg}(\mu_j(X)), q = \overline{1, 4} \quad (5)$$

де $\mu_{C_x}(Y)$ – ступінь приналежності вхідного вектора класам, agg – агрегування результату нечіткого висновку по кожному правилу бази знань.

Результатом логічного $\hat{Y}$ – нечітка множина, що визначається:

$$\hat{Y} = \left(\frac{\mu_{C_{NGVCK}}}{C_{NGVCK}}, \frac{\mu_{C_{VCL32}}}{C_{VCL32}}, \frac{\mu_{C_{G2}}}{C_{G2}}, \frac{\mu_{C_{BP}}}{C_{BP}} \right) \quad (6)$$

Результатом класифікації – рішення з максимального степеню приналежності в нечіткій множині Y :

$$Y = \arg \max(\mu_{C_{NGVCK}}(X), \mu_{C_{VCL32}}(X), \mu_{C_{G2}}(X), \mu_{C_{BP}}(X)) \quad (7)$$

У випадку приналежності невідомого об'єкту одразу до декількох класів, тобто коли у (5) результатом буде $Y = \max(\mu_{C_{NGVCK}}(X)) \vee \max(\mu_{C_{VCL32}}(X)) \vee \max(\mu_{C_{G2}}(X)) \vee \max(\mu_{C_{BP}}(X))$ вибирається один із результатів за медіаною.

Нормалізація вхідних даних

З метою уникнення впливу на відстань між двома найвіддаленішими точками класифікації використовується нормалізація даних [5]. Оскільки, даними для вхідного вектора схожості копій метаморфних вірусів є операції вставки, переміщення, видалення та заміни інструкцій, що можуть сильно варіюватися у метаморфному вірусі від покоління до покоління, для здійснення нечіткої класифікації необхідно виконати нормалізацію вхідних даних. Наприклад, для метаморфного вірусу NGVCK кількість операцій співпадіння інструкцій буде на порядок меншою за кількість операцій вставки (генерація “команд-сміття”). Тому, для кожної ознаки вектора схожості копій метаморфного вірусу $\bar{S}$ використаємо лінійну нормалізацію:

$$s(x) = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad \forall s_i \in \bar{S}, i=1,6 \quad (8)$$

Нечітка класифікація копій метаморфних вірусів

Побудуємо нечіткий класифікатор для віднесення невідомої програми до одного з класів. Кожна невідома програма може бути віднесена до одного із чотирьох класів – трьох класів метаморфних вірусів та одного класу довірених додатків. Класи метаморфних вірусів представляються метаморфними генераторами NGVCK, VCL32 та G2, що отримані з VX Heavens [6]. Клас довірених додатків представляє собою корисні виконувальні файли, до яких застосована техніка обфускації.

У якості вхідних лінгвістичних змінних приймемо: «ступінь схожості підозрілої програми з її копією за дистанцією Левенштейна» (dL), «ступінь схожості підозрілої програми з її копією за кількістю операцій вставки» (I), «ступінь схожості підозрілої програми з її копією за кількістю операцій видалення» (D), «ступінь схожості підозрілої програми з її копією за кількістю операцій заміни» (R), «ступінь схожості підозрілої програми з її копією за кількістю операцій перестановки» (T), та «ступінь схожості підозрілої програми з її копією за кількістю операцій співпадіння» (M). Для кожної лінгвістичної змінної задано терм-множину less low, low, medium, high та more high.

В якості функцій приналежності для входів було обрано трапецевидну, для виходу – трикутну. Наприклад, функції приналежності для лінгвістичної змінної dL можна описати рівняннями:

$$\mu_{low}(dL) = \begin{cases} 0, & 72 < x \\ \frac{72-x}{64}, & 8 < x \leq 72 \\ 1, & 0 \leq x \leq 8 \end{cases}$$

$$\mu_{medium}(dL) = \begin{cases} 0, & x < 16 \\ \frac{x-16}{49}, & 16 \leq x < 65 \\ 1, & 65 \leq x < 96 \\ \frac{145-x}{49}, & 96 \leq x < 145 \\ 0, & 145 \leq x \end{cases}$$

$$\mu_{high}(dL) = \begin{cases} 0, & 96 < x \\ \frac{x-96}{38}, & 96 \leq x < 134 \\ 1, & 134 \leq x \leq 161 \end{cases}$$

На рис. 2 представлено графік функції приналежності для лінгвістичної змінної дистанція Левенштейна. З рисунка видно, що для ознаки дистанція Левенштейна значення 119 (операцій вставки, видалення, перестановки інструкцій) ступінь приналежності до нечіткого терму low становить 0,47, до medium – 0,28, до всіх решти нечітких термів – 0.

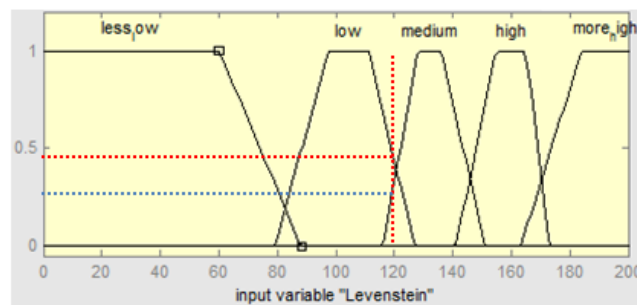


Рис. 2. Графік функцій приналежності для ознаки – “дистанція Левенштейна”

Для здійснення нечіткого логічного висновку в системі задіяно 38 правил, приклад яких подано нижче:

- if (dL is Low) and (T is Low) and (D is Medium) and (I is Hight)
1. and (R is Low) and (M is Medium) then class1
 - if (dL is Low) and (T is Medium) and (D is Medium) and (I is Hight)
 2. and (R is Low) and (M is Medium) then class1
 - ...
 - if (dL is Hight) and (T is Low) and (D is Hight) and (I is Hight)
 - 38 and (R is Medium) and (M is Low) then class3

Для навчання системи, використовуючи методику [1], експериментальним шляхом було отримано 300 векторів схожості копій метаморфних вірусів. Для отримання кожного вектора ознак було проаналізовано 200 рядків дизасембльованого коду копії метаморфного вірусу. Мінімальне та максимальне значення ознак для вектора схожості копій метаморфних вірусів для кожного класу представлено у таблиці 1.

Дані з таблиці 1 свідчать, що незважаючи на відмінність двох копій метаморфного вірусу одна від одної, що зумовлено використанням техніки обфускації програмного коду вірусу, загальна кількість операцій вставки “команд-сміття”, перестановки інструкцій та використання еквівалентних команд залишається відносно сталою в певному діапазоні. Це пояснюється використанням всередині метаморфних генераторів алгоритмів для генерації нової копії вірусу, у яких закладені ті чи інші закони розподілу величин [7].

Таблиця 1

Тестові значення ознак вектора схожості копій метаморфних вірусів

Класи метаморфних вірусів	Ознаки вектора схожості копій метаморфних вірусів					
	Дистанція Дамерау-Левенштейна	Перестановка інструкцій	Видалення інструкцій	Вставка інструкцій	Заміна інструкцій	Співпадіння інструкцій
C_{NGVCK}	138-161	26-31	42-49	41-51	24-41	39-62
C_{VCL32}	120-149	17-22	37-41	29-39	37-47	51-80
C_{G2}	98-127	32-41	25-32	20-28	21-26	73-102

Таблиця 2

Значення нечітких терм множин для вхідних параметрів нечіткого класифікатора

№ п/п	Назва вхідного параметру	Позначення	Нечіткі терм-множини				
			less low	low	medium	high	more high
1	Дистанція Дамерау-Левенштейна	dL	0-88	88-126	127-138	139-161	162-200
2	Перестановка інструкцій	T	0-16	17-22	26-31	32-41	42-200
3	Видалення інструкцій	D	0-24	25-32	37-41	42-49	50-200
4	Вставка інструкцій	I	0-19	20-28	29-39	41-51	52-200
5	Заміна інструкцій	R	0-20	21-25	26-36	37-41	42-200
6	Співпадіння інструкцій	M	0-38	39-62	63-73	74-102	103-200

Для тестування нечіткого класифікатора задіяно 80 векторів ознак схожості копій метаморфних вірусів, які отримані з 60 метаморфних вірусів та 20 корисних програм.

Результати тестування подамо у наступних відношеннях:

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} = \frac{57}{57 + 3} = 0,95 \text{ вірно ідентифіковані копії метаморфних вірусів}$$

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN} = \frac{2}{2 + 18} = 0,1 \text{ корисна програма ідентифікована як метаморфний вірус}$$

$$AR = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \cdot 100\% = \frac{57 + 18}{57 + 18 + 2 + 3} \cdot 100\% = 0,9375\% \text{ загальний показник точності}$$

класифікації (accuracy rate)

$$ER = 1 - \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \cdot 100\% = 1 - 0,9375 = 0,0625\% \text{ загальний показник помилки класифікації}$$

Таким чином, нечітким класифікатором вірно розпізнано 57 метаморфних копій та 18 корисних програм, 2 корисних програми віднесено до класу метаморфних вірусів та 3 метаморфних копії віднесено до класу довірених додатків.

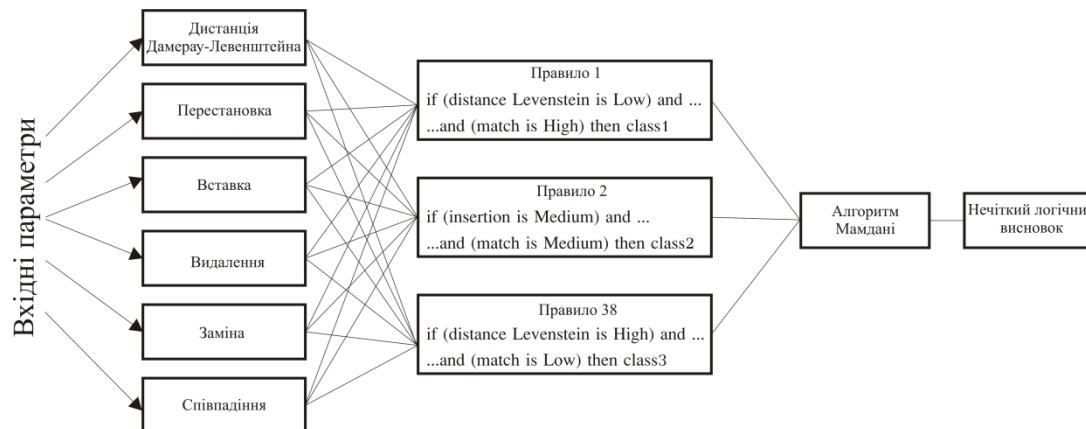


Рис. 3. Схема системи нечіткого логічного висновку для визначення ступеня приналежності кожної копії вірусу до одного з класу метаморфних вірусів

Висновки

Запропонований нечіткий класифікатор вектора схожості копій метаморфних вірусів на основі дистанції Дамерау-Левенштейна, дозволяє здійснювати виявлення метаморфних копій з точністю 94%. Закладені механізми для формування вектора ознак дозволяють здійснювати виявлення метаморфних вірусів, що створенні за допомогою генератора NGVCK, VCL32, G2. Дана система може бути масштабована шляхом доповнення нечіткої бази правилами для виявлення нового типу метаморфних вірусів.

Література

1. O. Pomorova, O. Savenko, S. Lysenko, A. Nicheporuk. Metamorphic virus detection technique based on the modified emulators: In proc. of the 12th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer, ICTERI. 2016, pp. 375–383.
2. S. Garg, C. Gentry, S. Halevi, M. Raykova, A. Sahai and B. Waters. Candidate indistinguishability obfuscation and functional encryption for all circuits. FOCS. 2013.
3. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / Штовба С.Д. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
4. A. Rotshtein, S. Shtovba. Identification of a nonlinear dependence by a fuzzy knowledgebase in the case of a fuzzy training set. Cybernetics and Systems Analysis. 2006. Vol. 42, № 2. pp.176–182.
5. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP / [А. А. Берсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод]. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб : БХВ-Петербург, 2007. – 384 с.
6. VX Heavens Computer virus collection. URL: <http://vx.netlux.org>
7. B.B. Rad, M. Masrom. Metamorphic Virus Variants Classification Using Opcode Frequency Histogram. In 14th WSEAS international conference of computers, WSEAS. 2010, pp. 147–155.

Рецензія/Peer review : 22.8.2016 р.

Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.

Рецензент: д.т.н. Мартинюк В. В.

БИОМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ І АВТЕНТИФІКАЦІЯ ОСОБИ ЗА ГЕОМЕТРІЄЮ ОБЛИЧЧЯ

В статті наведені результати аналізу методів розпізнавання обличчя та алгоритмів порівняння шаблонів образів, а також огляд сучасних систем розпізнавання особи за геометрією обличчя і виявлення сфер використання і тенденцій розвитку систем біометричної ідентифікації та автентифікації осіб за геометрією (формою) обличчя.

Ключові слова: ідентифікація, автентифікація, метод, біометрична система, геометрія обличчя.

O.V. NECHYPORENKO, Y.V. KORPAN

Cherkassy State Technological University

BIOMETRIC IDENTIFICATION AND AUTHENTICATION OF PERSONS FOR GEOMETRY FACE

The article presents an analysis of facial recognition methods and algorithms compare the template images and an overview of modern systems for facial recognition facial geometry. Identified areas of use and trends of biometric identification and authentication of persons by geometry (shape) of the face. One of the most promising biometrics market trends is the emergence of intelligent digital camcorders that implement face detection based on embedded logic. Modern facial recognition systems face are used not only to detect serious problems such wanted persons in public places, but also for purely civilian purposes. Analysis of the most popular programs shows that they have very little chance of error, provide comfort. Their characteristics are about the same and the choice depends on personal requirements of the user.

Keywords: identification, authentication method, biometric system, the geometry of the face.

Вступ

Впровадження біометричних систем в життя суспільства є незаперечним фактом. Світові аналітики прогнозують підвищення попиту на біометрію в усіх галузях і розширення сфери її застосування.

Актуальність розвитку біометричних технологій ідентифікації особи обумовлена збільшенням числа об'єктів і потоків інформації, які необхідно захищати від несанкціонованого доступу, а саме: криміналістика; системи контролю доступу; системи ідентифікації особи; інформаційна безпека; облік робочого часу та реєстрація відвідувачів; системи голосування, проведення електронних платежів; автентифікація на Web-ресурсах; різні соціальні проекти, де потрібна ідентифікація людей; проекти цивільної ідентифікації (перетин державних кордонів, видача віз на відвідування країни).

Ідентифікація на основі біометричних даних – це засіб автоматичного розпізнавання особистості на базі унікальних фізичних або поведінкових параметрів. Ідентифікація виконується за допомогою порівняння отриманих біометричних характеристик і шаблонів, що зберігаються у базі даних [1].

Для користувачів, які застосовують системи біометричної ідентифікації і автентифікації, дуже важливим є зручність застосування цих засобів (це не тільки швидкість і простота проведення процедури, але і можливість використання звичного обладнання). На сьогодні оптимальним співвідношенням між надійністю автентифікації, ціною і зручністю використання має визначення особистості по обличчю, чим і пояснюється високий темп розвитку і поширення таких технологій.

Аналіз досліджень та публікацій

Інтеграція України до Європи зачіпає не лише економічну і політичну, але і соціальну сферу життя наших громадян. Європейський союз визначив набір протоколів для реалізації ЕАС (доступу до критичних даних (біометричних даних) в своїх електронних паспортах (ЕП, ePassport)). В Україні і в країнах ЄС ведеться робота по впровадженню біометричних паспортів [1].

Так, згідно з Концепцією створення національної системи ідентифікації громадян України, іноземців та осіб без громадянства основними напрямками реформи є [2]:

- запровадження системи достовірної ідентифікації особи і встановлення її законних даних; створення електронних баз даних; усунення випадків дублювання і незаконної зміни даних; використання інформаційних технологій для ідентифікації особи, перевірки даних і ефективного аналізу баз даних; впровадження сучасних технічних засобів;

- запровадження сучасних та захищених ідентифікаційних документів. Одним з важливих чинників є визначення фізичних і функціональних характеристик документа, що посвідчує особу, його значення у контексті електронного урядування, у тому числі цифрового підпису;

- надання високоякісних, прозорих, безпечних та швидких послуг суб'єктам звернення.

Основними джерелами з питань біометричного паспорту є різноманітні публікації організації цивільної авіації ICAO. Це, в першу чергу, Doc 9303, що складається з кількох частин. Основоволожною є частина 1 «Машиночитуємі паспорти» том 2 «Специфікації на електронні паспорти з засобами біометричної ідентифікації» [1].

Метою статті є аналіз методів розпізнавання обличчя та алгоритмів порівняння шаблонів образів, а також огляд сучасних систем розпізнавання особи за геометрією обличчя і виявлення сфер використання і

тенденцій розвитку систем біометричної ідентифікації та автентифікації осіб за геометрією (формою) обличчя.

Матеріали досліджень

1. Загальні відомості про біометрію обличчя

Розпізнавання обличчя – найбільш древній і поширений спосіб ідентифікації, заснований на тому, що риси обличчя і форма черепа кожної людини індивідуальні. Комп'ютер лише автоматизує процедуру, виконуючи аналогічну процедуру, з тією різницею, що замість фото застосовуються біометричні дані, записані в еталонному образі. Так як використовуються фізіологічні характеристики людини, цей метод відноситься до статичних методів біометрії. Це самий інтуїтивно зрозумілий метод ідентифікації, найбільш близький до того, як люди ідентифікують один одного.

Необхідно відзначити, що останнім часом розроблені деякі інші методи розпізнавання, що виконують сканування обличчя, наприклад, розпізнавання обличчя в інфрачервоному світлі по термограмі обличчя. У зв'язку з цим назву методу уточнюють – називають його ідентифікацією за геометрією обличчя.

Розпізнавання за рисами обличчя має ряд переваг перед іншими біометричними технологіями:

- не потрібно безпосереднього контакту людини, обличчя якої встановлюють, зі сканером, за винятком систем розпізнавання обличчя в складі стандартних електронних охоронних систем, де людина при верифікації дивиться прямо в камеру;
- при відповідному обладнанні розпізнавання за рисами обличчя можливо на значній відстані, в групі людей, не привертаючи уваги;
- це єдиний біометричний спосіб ідентифікації з точки зору можливості багатоцільового застосування, не вимагає спеціальної техніки;
- при ідентифікації використовується загальнодоступна біометрична характеристика, зазвичай не приховувана людиною.

Будь-яка система розпізнавання обличчя – це типова система розпізнавання образів, завдання якої зводиться до формування деякого набору ознак, так званого біометричного шаблону, згідно закладеної в систему математичної моделі. Розпізнавання обличчя в будь-якій біометричній системі виконується в кілька етапів: виявлення обличчя, оцінка якості, побудова шаблону, зіставлення і прийняття рішення [3].

1. На етапі виявлення обличчя система автоматично визначає в потоці відеокадрів або на фотографії обличчя людей, причому діапазон ракурсів і масштабів осіб може значно варіюватися, що вкрай важливо для побудови систем безпеки. Виявлення обличчя є одним з ключових етапів розпізнавання, так як пропуск особи детектором автоматично означає неможливість подальшої ідентифікації. Якість роботи детектора прийнято характеризувати ймовірністю виявлення особи. Для сучасних біометричних систем, що працюють в умовах потоку людей, значення ймовірності виявлення особи становить від 95 до 99% і залежить від умов реєстрації відео (освітленість, роздільна здатність і т.д.).

2. На етапі оцінки якості здійснюється вибір з усього масиву виділених обличч тільки тих зображень, які задовольняють заданим критеріям якості. На практиці системи біометричної ідентифікації змушені мати справу з не дуже сприятливими умовами роботи: відхилення обличчя від фронтального положення на кути, що перевищують 20 град.; сильне засвічування; перекриття частини обличчя; наявність тіней на обличчі; малий розмір зображення і т.п. Саме стабільність роботи біометричної системи в таких складних умовах і визначає її якість. Як правило, оцінюються: ракурс обличчя (не повинен перевищувати 20–30 град.); розмір обличчя (оцінюється за відстанню між зіницями очей і повинен бути більше 50–80 пкс); часткове закриття обличчя (закриття не повинно бути більше 10–25% від загальної площі обличчя).

3. Побудова шаблону – це один з найбільш складних і унікальних етапів розпізнавання обличчя, що становить ключове досягнення новітніх технологій. Суть даного етапу полягає в нетривіальному математичному перетворенні зображення обличчя в набір ознак, об'єднаних в біометричний шаблон. Принципи побудови біометричних шаблонів надзвичайно різноманітні. Найважливішою характеристикою біометричного шаблону є його розмір. Чим більше розмір шаблону, тим більше інформативних ознак він включає в себе, але тим нижче швидкість і ефективність пошуку цього шаблону.

4. Зіставлення і прийняття рішення – це об'єднаний етап роботи системи розпізнавання, на якому проводиться порівняння біометричного шаблону обличчя, побудованого за виділеним обличчям, з масивом шаблонів. У найпростішому випадку зіставлення здійснюється простим перебором всіх шаблонів і оцінкою міри їх схожості. На підставі отриманих оцінок і їх зіставлення з заданими порогами приймається рішення про наявність чи відсутності ідентичної особи в базі даних. У сучасних системах зіставлення реалізується за складними оптимальними схемами порівняння, що забезпечує швидкість зіставлення від 10 000 до 200 000 порівнянь в секунду і більше. Процес порівняння може бути розпаралеленим, що дозволяє працювати системам ідентифікації практично в режимі реального часу навіть по великих масивах зображень.

Ефективність роботи алгоритму стосовно заданого біометричного параметру зазвичай оцінюють за двома критеріями [6]:

- FAR (False Acceptance Rate) – коефіцієнт помилкового доступу, процентний показник випадків, при яких перевірка особи виявилася помилково успішною.
- FRR (False Rejection Rate) – коефіцієнт помилкової відмови в доступі, процентний показник випадків, при яких перевірка особи помилково завершилася невдачею.

Теоретично система тим краще, чим менше значення FRR і FAR. Однак, в більшості випадків більш

важливою є якась одна з величин. Зокрема, для системи контролю логічного або фізичного доступу пріоритетом є заборона доступу не уповноважених осіб за будь-яких обставин, як більш критичної обставини. Очевидно, що для цього необхідний дуже низький FRR. Залежно від конкретного завдання можливе настроювання на певний компроміс між припустимими значеннями FRR і FAR, або, як їх прийнято називати в теорії статистичних рішень, помилками 1-го й 2-го роду.

Ефективність розпізнавання обличчя безпосередньо залежить від таких факторів, як стійкість біометричного шаблону до різного роду перешкод, спотворень у вихідному фото- або відеозображенні [3–5].

Надійність роботи системи розпізнавання осіб залежить від декількох факторів [7]:

- якість зображення (помітно знижується ймовірність безпомилкової роботи системи, якщо людина, яку ми намагаємося ідентифікувати, дивиться не прямо в камеру або знята при поганому освітленні);

- актуальність фотографії, занесеної до бази даних;

- величина бази даних (обсяг баз даних при використанні стандартних персональних комп'ютерів не перевищує 10000 зображень).

Якість роботи систем розпізнавання осіб прийнято характеризувати ймовірностями ідентифікації. Хоча обличчя людини і унікальний параметр, але мінливий – риси обличчя змінюються в залежності від повороту голови, психологічного стану, мімічного вираження, наявності бороди, вусів, окулярів, косметики. Щоб забезпечити високу надійність впізнання незалежно від цього, кількість, якість і різноманітність зчитувальних образів може варіюватися в залежності від алгоритмів і функцій системи, що реалізує даний метод.

2. Технології біометрії за формою обличчя і алгоритми порівняння шаблонів

В даний час існує чотири основні методи розпізнавання особи, які розрізняються складністю реалізації та метою застосування [7]:

- метод автоматичної обробки зображення особи;
- «eigenfaces» (нім. «власне обличчя»);
- аналіз відмінних рис;
- аналіз на основі нейронних мереж.

Метод автоматичної обробки зображення обличчя – найбільш проста технологія, що аналізує відстані і відношення відстаней між легко визначеними точками обличчя. Особливо важливі характерні частини обличчя, а також ті, які практично не змінюються з плином часу: очі, вилиці, кінець носа, куточки рота. Хоча даний метод не дуже потужний, він може бути досить ефективно використаний в умовах слабкої освітленості.

Технологія «eigenface» використовує представлення зображення обличчя в градаціях сірого у вигляді статистично обґрунтованих, стандартних блоків даних (областей обличчя). Даний метод заснований на тому, що всі обличчя можуть бути отримані з репрезентативної вибірки облич з використанням сучасних статистичних прийомів. Вони охоплюють пікселі зображення обличчя і універсально представляють форми обличчя (двомірні зображення-шаблони). Комбінуючи 100–120 різних шаблонів, можна представити велику кількість облич. При реєстрації вигляд кожної конкретної людини представляється рядом коефіцієнтів, що вказують найбільш відповідні шаблони. Для режиму встановлення автентичності, коли проводиться перевірка ідентичності, біометричний образ користувача обробляється і порівнюється з раніше зареєстрованим набором коефіцієнтів, з метою визначення коефіцієнта відмінності. Ступінь відмінності між шаблонами і визначає факт ідентифікації. Технологія «eigenface» оптимальна в добре освітлених приміщеннях, при можливості сканування особи в фас. Метод використовується в якості основи для інших методів розпізнавання особи.

Методика аналізу відмінних рис подібна методиці «eigenface», але в більшій мірі адаптована до зміни зовнішності або міміки людини. У технології аналізу відмінних рис використовуються не тільки характерні особливості областей обличчя, а й враховано їх відносне положення. Тобто ідентичність обличчя визначається не тільки характерними елементами, але і способом їх геометричного об'єднання. Індивідуальна комбінація цих параметрів визначає особливості кожного конкретного обличчя.

У методі, заснованому на нейронних мережах, характерні особливості зареєстрованого і перевіряемого обличчя порівнюються на співпадіння. Нейронні мережі встановлюють відповідність унікальних властивостей людини, а потім за допомогою відповідних вагових коефіцієнтів кожної характеристики визначається ступінь загальної відповідності обличчя до еталону. Метод має високу якість ідентифікації в складних умовах.

Для порівняння з графічними зображеннями-шаблонами застосовуються два основних алгоритми: мінімальної середньої кореляційної енергії (MACE) [6] і локальні бінарні шаблони (LBP) [9].

Локальні бінарні шаблони (LBP) використовують обробку пікселя цифрового зображення. Алгоритм LBP популярний для розпізнавання графічного зображення в цілому, а останнім часом застосовується і для розпізнавання облич. Непараметричне ядро LBP аналізує піксельну структуру зображень. Воно є інваріантним до монотонних сіро-масштабних перетворень, тобто менш чутливе до освітленості, що вельми важливо.

Принцип роботи MACE-фільтра заснований на визначенні середнього ступеня кореляції до заздалегідь підготовлених зображень; коефіцієнт кореляції дорівнює нулю на всьому зображенні крім

областей, які збігаються з шаблонами, тобто в цих областях ступінь кореляції більше. Для роботи необхідна база шаблонів для розрахунку ступеня кореляції. Для забезпечення більшої надійності в базі потрібно мати порівняно велику кількість зображень обличчя, в різних умовах освітлення і зміни міміки.

3. Методи розпізнавання особи

Вся множина методів розпізнавання за геометрією обличчя ділиться на два напрямки: 2D і 3D методи розпізнавання [10]. У кожного з них є переваги і недоліки, проте багато що залежить ще і від області застосування і вимог, пред'явлених до конкретного алгоритму.

3.1 Розпізнавання обличчя в 2D

Цей напрямок ідентифікації з'явився давно і бере початок в криміналістиці. Розпізнавання обличчя спочатку мало низьку в порівнянні з іншими методами надійність. Високі результати досягалися лише при фіксованих зовнішніх факторах (ракурс, освітленість, дальність і т.п.). В даний час він застосовується лише в багатофакторній (перехресній) автентифікації, або в соціальних мережах (вказівка людей на фото в Facebook). В задачах ідентифікації при використанні великих баз даних надійність і швидкість таких біометричних систем різко знижується, змушуючи використовувати додаткові ознаки для автентифікації. На практиці також пред'являються вимоги до освітлення, відсутності зовнішніх перешкод. Обов'язкове фронтальне зображення обличчя з досить невеликими відхиленнями, багато алгоритмів не враховують можливі зміни міміки обличчя. Все це додає труднощів при ідентифікації і встановлює певні мінімальні вимоги до обчислювальної потужності апаратури. На практиці досить стандартних відеокамер з роздільною здатністю 320x240 ppi, які передають дані зі швидкістю відеопотоку, принаймні 3–5 кадрів в секунду. Інтенсивний розвиток і, як наслідок, здешевлення цифрового відео і мультимедійних цифрових технологій дозволяють впровадити їх в широке використання. Найбільш поширеними пристроями, що дозволяють отримати двомірне зображення обличчя користувача є веб-камери.

2D система працює з відносно простим двовимірним зображенням, що помітно спрощує алгоритми і знижує інтенсивність обчислень. Переваги методу 2D розпізнавання обличчя: не потрібне дороге обладнання; при відповідному обладнанні можливість розпізнавання на значних відстанях від камери. Недоліки: низька статистична достовірність; вибагливість до освітлення; неприйнятність будь-яких зовнішніх перешкод; не враховують можливі зміни міміки обличчя, вираз повинен бути нейтральним [1].

Сучасні алгоритми здатні компенсувати наявність окулярів, вусів і бороди, а також додаткових аксесуарів на обличчі досліджуваної людини навіть на двомірному зображенні. Однак основною проблемою використання двомірних зображень є вразливість до атак з використанням муляжів. Для обману таких систем досить використання фотографії суб'єкта.

3.2 Розпізнавання обличчя в 3D

Реалізація являє собою досить складне математичне і технічне завдання. В даний час існує багато методів по 3D розпізнаванню обличчя. Методи неможливо порівняти один з одним, так як вони використовують різні сканери та бази, не для всіх з них вказані FAR і FRR, використовуються абсолютно різні підходи.

Класичним є метод проектування шаблону. Він полягає в тому, що на обличчя проектується світлова сітка. Промінь, що падає на викривлену поверхню, згинається – чим більше кривизна поверхні, тим сильніше вигин променя. Спочатку застосовувалося джерело видимого світла, а потім – інфрачервоне. Камера робить знімки зі швидкістю десятки кадрів в секунду, а отримані зображення обробляються спеціальною програмою. За отриманими знімками відновлюється 3D модель обличчя, на якій виділяються і видаляються непотрібні перешкоди (зачіска, борода, вуса та окуляри). Потім проводиться аналіз моделі – виділяються антропометричні особливості, які записуються в унікальний код, що заноситься в базу даних. Крім низької чутливості до зовнішніх чинників, найважливішою перевагою методу є високий рівень надійності.

Переваги методу 3D розпізнавання обличчя: висока достовірність розпізнавання – більше інформації, ніж має звичайний знімок; стійкість розпізнавання до відхилення ракурсу особи від фронтального; стійкість розпізнавання до неоднорідності освітлення; відсутність необхідності контактувати з пристроєм; низька чутливість до зовнішніх факторів. Недоліки: має обмежену сферу застосування із-за поганих статистичних показників; дороге обладнання; зміна міміки обличчя і перешкоди на обличчі погіршують статистичну надійність методу [1].

Досить надійні системи базуються на застосуванні декількох камер, розташованих під різними кутами і забезпечують формування тривимірної моделі обличчя. У них також використовується додаткове підсвічування для зниження впливу освітлення на одержуваний результат. Подібні системи знаходять застосування на контрольно-пропускних пунктах. У той же час застосування таких систем звичайними користувачами в повсякденних умовах неможливо через їх високу вартість, складності установки і використання [6].

В роботі [10] детально розглянуто методи, що базуються на автентифікації особи за геометрією обличчя. Результати аналізу представлено у вигляді 10-бальної шкали (чим ближче оцінка до 10, тим краще система). Для методу ідентифікації за геометрією обличчя з використанням двох вимірів FAR становить 0,1–0,001%, FRR – 2,5–9,0%, а з використанням трьох вимірів FAR становить 0,0047%, FRR – 0,103%.

4. Аналіз ринку систем розпізнавання особи за геометрією обличчя

В області розпізнавання 2D обличчя основним предметом розробки є програмне забезпечення:

алгоритми обробки і формування біометричного образу набувають переважачий вплив на точність розпізнавання. У рішенні задачі розпізнавання по зображенню обличчя протягом декількох років практично не відбувається поліпшення статистичних показників алгоритмів.

3D розпізнавання обличчя зараз є більш привабливою областю для розробників. На сьогоднішній день розроблено цілий ряд комерційних продуктів, призначених для розпізнавання обличчя. Алгоритми їх різні і складно оцінити, яка з технологій має перевагу. Досить широкий і спектр застосування систем з розпізнаванням форми обличчя: від систем контролю доступу до систем автоматизованого документообігу.

Як приклад діючої системи контролю доступу на базі розпізнавання обличчя можна привести систему TrueFace компанії "Miros" для розпізнавання відвідувачів кіосків для переведення в готівку чеків у кількох штатах США. Також в цій країні застосовують автоматизовану систему сканування фотографій для водійських посвідчень. Найбільш продавана в Європі система контролю доступу – ZN-Face компанії "ZN Vision Technologies AG", сертифікована Німецьким відомством інформаційної безпеки. Спочатку розроблена для атомних електростанцій, вона тепер застосовується як європейським відділенням корпорації Microsoft в Німеччині, так і спортивними клубами в Голландії. ZN-Phantomas – це база фотоданих, автоматично порівнює і ідентифікує обличчя, використовується поліцією в Європі і США для розшуку злочинців, зниклих людей і впізнання жертв.

Система розпізнавання по обличчю FaceIt, розроблена компанією "Visionics", має складний математичний код індивідуальної ідентичності, який може бути порівняний з іншими з феноменальною точністю, незалежно від змін у освітленні, тону шкіри, окулярів, виразу обличчя, волосся на обличчі та голові, стійкий до зміни ракурсу. У Великобританії FaceIt інтегрована в телевізійну антикримінальну систему Mandrake, яка шукає злочинців по відеоданих 144 камер, об'єднаних в мережу.

Також успішне розпізнавання осіб застосовується в системах моніторингу робочого часу. Подібні системи все більш затребувані на ринку. Про ефективність біометричних систем обліку робочого часу свідчить і досвід світових компаній. Наприклад, мережа ресторанів "McDonald's", яка впровадила біометричну систему обліку робочого часу, змогла заощадити більше 20% фонду заробітної плати в Венесуелі.

Компанія "Google" відмічає привабливі перспективи інтеграції подібних технологій в свої сервіси для роботи з графічною інформацією. Ефективне розпізнавання обличчя було б дуже корисно в усьому, що стосується організації цифрових фотоальбомів і швидкого пошуку фотографій в них. Агентство "Reuters" оголосило про те, що має намір вбудувати в свій новий сайт програму відеопошуку. У поєднанні з Viewdle, засобом розпізнавання обличчя, програма "Reuters" індексує відеоматеріали агентства, так що найближчим часом користувачі отримають можливість шукати відеосюжети, які містять конкретних людей.

Найпростіші функції розпізнавання осіб реалізовані в цифрових фотоапаратах багатьох фірм, в тому числі "Canon" і "Fuji". Вбудовані програми пошуку можуть автоматично знаходити в зображенні видошукача людські обличчя за характерними ознаками – очами, вухами, носом і т.д. Фірма "Sony" розробила цифрову камеру, яка утримує затвор від спрацювання до тих пір, поки люди не посміхнуться, досліджуючи положення куточків рота, розмикання губ, мімічні зморшки навколо очей. Розробляються програми для розпізнавання обличчя за допомогою камер мобільних пристроїв. Смартфони Apple реалізують цю функцію.

Компанії, які є лідерами в розробці технологій розпізнавання обличчя: ZN Vision Technologies (системи ZN-Face, ZN-Phantomas і ZN SmartEye), SAFLINK (біометричні add-on-модулі для Windows), Imagis Technologies (CABS – інтегрована система обліку правопорушень і злочинців). Також на ринку представлені компанії Geometrix (3D сканери обличчя), Genex Technologies (3D сканери обличчя) в США, Cognitec Systems GmbH (SDK, спеціальні обчислювачі, 2D камери) в Німеччині, Bioscrypt (3D сканери обличчя).

Висновки

1. Серед біометричних методів, які стали вже традиційними, найбільш перспективним є розпізнавання людини по обличчю. Цей метод має ряд незаперечних переваг перед більшістю інших: при досить високій точності визначення він дозволяє проводити перевірку на відстані, допускає таємну перевірку і вимагає наявності тільки відеокамери. Розроблено досить велике число алгоритмів, що забезпечують не тільки високу швидкодію і точність визначення, але і дозволяють системі працювати в самих різних умовах. Сукупність цих якостей зумовила дуже швидкий розвиток цього методу, поставивши його за поширеністю в один ряд з дактилоскопічною перевіркою.

2. Для підвищення точності необхідно об'єднання кількох різних алгоритмів, які аналізують обличчя. Наприклад, доповнюють розпізнавання обличчя розпізнаванням особи по вушній раковині, яка забезпечує високий відсоток збігу. Варто відзначити, що не завжди доцільно використовувати велику кількість алгоритмів, так як приріст ймовірності розпізнавання може бути не суттєвий.

3. Однією з найбільш перспективних тенденцій розвитку ринку біометрії є поява інтелектуальних цифрових відеокамер, що реалізують функцію виявлення обличчя на основі вбудованої логіки. Інтелектуальні відеокамери дозволяють отримувати не тільки якісний відеопотік, а й пов'язані з ним метадані, що містять відомості про знайдені обличчя. Такий підхід дозволяє значно знизити навантаження на апаратні потужності системи розпізнавання, що, в свою чергу, зменшує кінцеву вартість біометричних комплексів, роблячи їх більш доступними для кінцевого споживача. Крім того, зменшуються вимоги до

каналів передачі даних, оскільки при такому підході досить наявності стандартних мереж для передачі стисненого відео і незначного потоку детектованих зображень облич.

4. Сучасні системи розпізнавання особи по обличчю знаходять застосування не тільки для серйозних завдань типу виявлення розшукуваних осіб в місцях масового перебування людей, а й для суто цивільних цілей. Через широке поширення недорогих веб-камер і розробки нових алгоритмів розпізнавання обличчя, що дозволили істотно підвищити точність методу, контроль доступу до персональних комп'ютерів по обличчю користувача стає все більш значущим сегментом ринку біометричних технологій. Аналіз найпоширеніших програм показує, що вони мають досить малу ймовірність помилок, забезпечують зручність в роботі. Їх характеристики приблизно однакові і вибір залежить від особистих вимог користувача.

5. Ефективно розпізнавати обличчя можна тільки в певних умовах, саме тому вкрай важливо при впровадженні біометрії обличчя розуміти, в яких умовах буде експлуатуватися система. Однак для більшості сучасних систем розпізнавання ці умови цілком досяжні на реальних об'єктах. Так, для підвищення ефективності розпізнавання обличчя в ідентифікаційних зонах слід організовувати спрямований потік людей для забезпечення можливості короткочасної фіксації обличчя кожного відвідувача. При цьому камери відеофіксації повинні бути встановлені з такою умовою, щоб кут відхилення зафіксованих облич від фронтального положення не перевищував 20–30 градус.

Дотримання цих умов при впровадженні систем розпізнавання дозволяє ефективно вирішувати завдання ідентифікації особи і пошуку людей, що представляють певний інтерес, з ймовірністю, максимально наближеною до декларованих розробниками значень показників успішної ідентифікації.

Література

1. Бугаєнко Х.А. Аналіз трьох біометричних методів автентифікації особи [Електронний ресурс] / Х.А. Бугаєнко, І.Д. Горбенко // Прикладная радиоэлектроника. – 2012. – Т. 11, № 2. – С. 262–266. – Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Prrr_2012_11_2_27.
2. Концепція створення національної системи ідентифікації громадян України, іноземців та осіб без громадянства [Електронний ресурс] : розпорядження КМУ від 23 грудня 2015 р. № 1428-р. – Режим доступу : <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1428-2015-%D1%80>.
3. Хрулев А. Системы распознавания лиц. Состояние рынка. Перспективы развития [Електронний ресурс] / А. Хрулев // Системы безопасности. – 2012. – № 1. – С. 70–72. – Режим доступу : <http://secuteck.ru/articles2/videonabl/sistemi-raspoznaniya-lic>.
4. Корпань Я.В. Аналіз методів та алгоритмів компресії-декомпресії цифрових відеоданих / Я.В. Корпань // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 3. – С. 175–179.
5. Корпань Я.В. Методи та алгоритми компактного представлення графічної інформації в комп'ютерних системах / Я.В. Корпань // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – Т. 3, № 2 (23). – С. 32–36. – doi: 10.15587/2312-8372.2015.43330.
6. Лысак А.Б. Идентификация и аутентификация личности: обзор основных биометрических методов проверки подлинности пользователя компьютерных систем / А.Б. Лысак // Математические структуры и моделирование. – 2012. – № 2(26). – С. 124–134.
7. Татарченко Н.В. Биометрическая идентификация в интегрированных системах безопасности [Электронный ресурс] / Н.В. Татарченко, С.В. Тимошенко // Специальная техника. – 2002. – № 2. – Режим доступа : http://www.ess.ru/sites/default/files/files/articles/2002/02/2002_02_03.pdf.
8. Savvides M. Face Verification using Correlation Filters / Marios Savvides, B.V.K. Vijaya Kumar, Pradeep Khosla // Electrical and Computer Eng. Dept, Carnegie Mellon University Pittsburgh, U.S.A. URL: http://www.ece.cmu.edu/~kumar/Biometrics_AutoID.pdf.
9. Marcel S. On the recent use of local binary patterns for face authentication / Sebastien Marcel, Yann Rodriguez, Guillaume Heusch // International journal of image and video processing, Special issue on facial image processing. URL: <http://www.idiap.ch/~marcel/professional/publications/marcel-ijivp-2007.pdf>.
10. Моржаков В. Современные биометрические методы идентификации [Электронный ресурс] / В. Моржаков, А. Мальцев // БДИ. – 2009. – № 2. – Режим доступа : <http://habrahabr.ru/blogs/infosecurity/126144/>.

Рецензія/Peer review : 29.6.2016 р.

Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф., В.М. Рудницький

БАГАТОРІВНЕВА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Розроблено структуру системи управління технологічними процесами з такими рівнями управління: збір даних та управління виконавчими механізмами; контроль та управління технологічними процесами; операторський контроль та формування управлінських рішень. Сформульовано вимоги до компонентів системи, вибрано методологію синтезу системи, яка ґрунтується на компонентно-орієнтованій технології та розглянуто основні апаратно-програмні компоненти багаторівневих систем управління технологічними процесами.

Ключові слова: багаторівневі системи управління, інтеграція систем, компонентно-орієнтована технологія, технологічні процеси, програмовані логічні контролери.

IVAN TSMOTS, SERGIY STRJAMETS AND DMYTRO ZERBINO

National University "Lviv Polytechnic"

THE MULTILEVEL SYSTEM FOR TECHNOLOGICAL PROCESSES CONTROL

The structure of the control system for intelligent manufacturing has been discussed, which has the following management levels: measurement data collection and control actuators level, self control and process control level, operator control and form-making level. The requirements to the system components have been formulated. The methodology of system's synthesis, based on component-oriented technology has been proposed. The basic hardware and software components of multi-process control systems have been chosen.

Keywords: Multi-management, systems integration, component-oriented technology, intelligent manufacturing, programmable logic controllers.

Постановка проблеми

Основними задачами сучасних багаторівневих систем управління (БСУТП) технологічними процесами є інтеграція функцій управління, створення єдиного інформаційного простору з достовірною, повною та оперативною інформацією. Інтеграція в БСУТП визначається як спосіб організації окремих компонентів в одну систему, яка забезпечує узгоджену і цілеспрямовану їх спільну взаємодію, що зумовлює високу ефективність функціонування всієї системи. Інтеграція в БСУТП здійснюється в таких напрямках: функціональному, організаційному, інформаційному, програмно-алгоритмічному, технічному та економічному.

Функціональна інтеграція забезпечує єдність цілей та узгодженість критеріїв і процедур виконання технологічних функцій, пов'язаних із досягненням поставлених цілей. Основою функціональної інтеграції є: оптимізація функціональної структури всієї системи, декомпозиція системи на локальні підсистеми, формалізований опис функцій кожної підсистеми і протоколів взаємодії підсистем.

Організаційна інтеграція передбачає формування узгоджених управлінських рішень шляхом раціональної взаємодії управлінського персоналу на різних рівнях системи.

Інформаційна інтеграція полягає в комплексному підході до створення єдиного інформаційного поля на основі об'єднання технологічного процесу збору, зберігання, передачі та опрацювання даних. Інформаційне забезпечення БСУ містить такі компоненти: систему класифікації та кодування, систему документації та інформаційну базу БСУТП, яка є розподіленою багаторівневою системою взаємопов'язаних інформаційних баз.

Програмно-алгоритмічна інтеграція передбачає присутність взаємопов'язаних комплексів моделей, алгоритмів, операційних систем, прикладних програм і їх спільне використання на всіх рівнях системи.

Технічна інтеграція полягає у використанні єдиного комплексу спільних апаратних засобів для управління агрегатами, апаратами, установками та виконавчими механізмами шляхом збору та опрацювання даних на всіх рівнях БСУТП.

Економічна інтеграція визначає стратегію витрат коштів на відновлення чи заміну компонентів системи, а також на її розвиток та модифікацію в цілому. Ця стратегія формулюється виходячи з функціонально-вартісного аналізу системи та з довгострокового прогнозу розвитку всієї галузі.

Синтез БСУТП технологічними процесами зводиться до рішення задачі інтеграції існуючих готових апаратних і програмних засобів, оскільки розробка та виготовлення нових вимагає значних коштів і часу. При розв'язанні задачі інтеграції необхідно враховувати багато факторів, а саме: інформацію про компоненти, які є на ринку, технічні характеристики готових компонентів, відповідність інтерфейсів компонентів стандартам, можливості їх покупки та інше.

Ефективна робота багаторівневих систем управління технологічними процесами вимагає опрацювання великих обсягів різнотипної інформації. Зменшення обсягів інформації досягається наближенням засобів опрацювання до джерел надходження інформації (давачів) та виконавчих механізмів шляхом використання розподілених мікроконтролерних систем.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває проблема розробки та синтезу апаратно-програмних компонент високоефективних БСУТП з використанням сучасної економічно обґрунтованої елементної бази.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

За останні роки було проведено багато досліджень, які опубліковані в працях, що так чи інакше стосуються питань розробки та синтезу апаратно-програмних компонент БСУТП [1–28]. У роботах [1–5] подано широкий та збалансований огляд технічних та інженерних аспектів розроблення багаторівневих

систем управління, розглянуто сучасні технології автоматизації і показано доцільність їх використання для створення сучасних автоматизованих систем управління технологічними процесами. Також там детально розглянуті промислові системи контролю, сенсори, виконавчі механізми, засоби збереження та автоматичного збору інформації та інші компоненти управління технологічними процесами. У [1–4] розглянуто використання розподілених мікроконтролерних систем для управління технологічними процесами, та пов'язані з цим питання організації взаємодії між рівнями управління в автоматизованих системах управління технологічними процесами. Розробка компонент для виконання збору даних, а також, питання управління виконавчими механізмами детально розглянуті [6–11]. З аналізу публікацій [6, 12] випливає, що для формування ефективних управлінських рішень у БСУТП необхідно розробити засоби для оцінювання протікання технологічних процесів та оперативного, аналітичного та інтелектуального опрацювання інформації та прогнозування.

Проте у розглянутих працях недостатньо уваги приділено питанням комплексного підходу до інтелектуалізації опрацювання даних, розроблення програмно-апаратних засобів та їх адаптації до задач управління на всіх рівнях БСУТП.

Завдання і мета дослідження

Метою статті є розроблення структури багаторівневої системи управління технологічними процесами, формулювання вимог до компонентів, вибір методології синтезу системи та розгляд основних апаратно-програмних компонент.

Виклад основного матеріалу

Структура багаторівневої системи управління технологічними процесами. Основними задачами сучасних БСУТП є дистанційне налаштування, контроль, управління виконавчими механізмами та процесами в цілому. Виконання таких задач передбачає збір даних, створення єдиного інформаційного простору з достовірною, повною та оперативною інформацією, опрацювання даних, формування сигналів управління виконавчими механізмами та управлінських рішень для операторів. В такій системі кожний рівень виконує свої задачі, які зв'язані з підвищенням ефективності системи в цілому. Особливістю роботи БСУТП повинна бути: висока гнучкість налаштування, можливість дистанційного контролю, а також використання компонентно-орієнтованих протоколів для взаємодії між компонентами системи.

Апаратно-програмні компоненти БСУТП повинні забезпечувати: збір даних; створення єдиного інформаційного простору з достовірною, повною та оперативною інформацією; опрацювання даних; формування сигналів управління та коректних управлінських рішень для операторів; контроль виконавчих механізмів. Для забезпечення перерахованих вимог розроблена базова структура БСУТП, яка наведена на рис. 1.



Рис. 1. Базова структура БСУТП

Розроблена базова структура БСУТП складається з трьох рівнів:

- збору даних та управління виконавчими механізмами;
- контролю та управління технологічними процесами;
- операторського контролю та формування управлінських рішень.

Специфіка кожного рівня системи управління технологічними процесами визначається апаратно-програмними компонентами [8]. На кожному ієрархічному рівні управління розв'язуються задачі відповідного рівня складності.

Рівень збору даних та управління виконавчими механізмами. На цьому рівні формується первинна

інформація, яка може попередньо опрацьовуватися, накопичуватися та надходити на засоби контролю. З використанням даної інформації формуються сигнали для управління виконавчими механізмами та технологічними процесами. Для попереднього опрацювання даних із давачів в умовах заводів і неповної інформації використовуються мікроконтролери сімейства STM8.

Рівень контролю та управління технологічним процесом. Цей рівень на управління передбачається як достатньо автономний, який при відсутності зв'язку з верхнім рівнем здатний тривалий час без втрати інформації працювати автономно. На даному рівні використовуються мікроконтролерні системи RaspberryPi та Arduino, програмовані логічні контролери Mitsubishi Melsec FX3U, засоби візуального контролю та управління технологічним процесом. Мікроконтролерні системи використовуються як для оперативного опрацювання даних, прогнозування поведінки процесів і об'єктів управління, так і для інтелектуалізації роботи компонентів системи управління. Опрацювання даних на даному рівні зменшує обсяги даних, які необхідно передавати на верхній рівень і тим самим забезпечує зниження вимог до пропускну здатності каналів зв'язку.

На даному рівні висуваються жорсткі вимоги до апаратно-програмних засобів за надійністю, часом реакції на дані, що надходять від давачів, на час формування управляючих сигналів для виконавчих механізмів. Загалом апаратно-програмні засоби повинні працювати у реальному часі, тобто гарантовано відкликатись на зовнішні події за час, визначений для кожної такої події.

Рівень операторського контролю та формування управлінських рішень. На цьому рівні операторський контроль представлений автоматизованим робочим місцем оператора. Апаратні засоби, які можуть використовуватись на цьому рівні, визначається інтенсивністю надходження даних, складністю алгоритмів опрацювання та вимогами за надійністю, які висуваються до системи управління. В якості апаратних засобів можуть використовуватись робочі станції оператора на RISC- або Intel-платформах. Задачі цього рівня такі: збір даних з програмованих логічних контролерів і мікроконтролерних систем; збереження даних; опрацювання даних; опрацювання відео-потоків, розпізнавання зображень і сцен в системах технічного зору; формування управлінських рішень; синхронізація єдиного часу в розподіленій системі; синхронізація роботи розподілених підсистем; візуалізація та відображення ходу виконання технологічного процесу.

Для розв'язання даних задач використовується системи SCADA, основною функцією якої є створення інтерфейсу оператора та збір даних про технологічний процес. Для контролю та управління технологічним процесом використовується інструментальне забезпечення, яке є сукупністю апаратних засобів, каналів зв'язку та алгоритмічно-програмних засобів.

Особливостями задач, які розв'язуються на рівні операторського контролю та формування управлінських рішень є:

- великий обсяг і різномірність даних;
- суперечливість та неповнота даних;
- постійність і висока інтенсивність надходження вхідних даних;
- великий обсяг обчислень з переважанням обчислювальних операцій над логічними при опрацюванні відео-потоків, розпізнавання зображень і сцен в системах технічного зору;
- постійне ускладнення алгоритмів опрацювання та підвищення вимог до точності результатів;
- можливість розпаралелення опрацювання даних як у часі, так і у просторі.

Вимоги до компонентів багаторівневої системи управління. Однією з найбільш широко розповсюджених вимог, що ставиться до апаратно-програмних компонентів багаторівневої систем управління є забезпечення високої швидкодії.

Подібна проблема виникає, як правило, при використанні компонентів для розв'язання задач у реальному часі, який накладає певні обмеження на процес обробки інформації [8]. Для забезпечення опрацювання потоків даних у реальному часі продуктивність (тобто, кількість операцій на секунду) апаратно-програмних компонентів повинна бути:

$$P \geq \frac{R\beta F_d}{n_d},$$

де R – складність алгоритму розв'язання задачі (кількість операцій); $\beta > 1$ – коефіцієнт врахування особливостей засобів реалізації алгоритму; F_d – частота надходження даних (кількість разів виконання алгоритму за секунду); n_d – кількість компонент розпаралелення.

Використання апаратно-програмних компонентів на нижніх рівнях управління, де апаратура розміщена безпосередньо біля давачів і виконавчих механізмів, накладає жорсткі обмеження на їхні масогабаритні характеристики. Одночасно до таких компонентів висуваються жорсткі вимоги за потужністю енергоспоживання, яка впливає на габарити джерел живлення та засобів відведення тепла. Забезпечити такі вимоги можна шляхом зменшення довжини розрядної сітки, використовувати фіксовану кому для представлення операндів, скорочення переліку команд і числа ліній адресної шини, що визначають доступну користувачу ємність пам'яті.

Окрім того, апаратно-програмні компоненти БСУТП мають забезпечувати високу живучість, надійність, перевірку працездатності та швидку локалізацію несправності. Проблема високої живучості апаратно-програмних компонентів виникає при використанні його в системах управління особливо важливими об'єктами, розміщеними на великій відстані від людини або об'єктами, що мають великий зовнішній вплив. Щоб забезпечити високу живучість компонентів, необхідна взаємозаміна його структурних частин.

Зменшення масогабаритних характеристик, енергоспоживання, підвищення надійності компонентів

та забезпечення режиму реального часу може бути досягнуто шляхом використання сучасних інтегральних технологій та надвеликих інтегральних схем (НВІС).

Компонентно-орієнтована технологія. На сучасному етапі розвитку інформаційних технологій розробка БСУТП зводиться до рішення задачі інтеграції існуючих готових апаратних і програмних засобів, оскільки розробка та виготовлення нових вимагає значних коштів і часу. При розв'язанні задачі інтеграції необхідно враховувати множину факторів, а саме: інформацію про готові апаратно-програмні компоненти, їх технічні характеристики, відповідність інтерфейсів стандартам, можливості їх покупки та інше.

В основу проектування сучасних БСУТП покладена системна інтеграція, яка ґрунтується на системному підході, який охоплює всі рівні інтеграції процесів, об'єктів, суб'єктів та інфраструктури з врахуванням ефективності їх застосування та вимог конкретного застосування.

Системну інтеграцію пропонується здійснювати на основі компонентно-орієнтованої технології, яка передбачає поділ процесу розробки на ієрархічні рівні та види забезпечення (алгоритмічне, апаратне та програмне). Для реалізації даної технології використовується метод декомпозиції, що передбачає розбиття багаторівневих систем управління на рівні та апаратно-програмні компоненти. На кожному рівні ієрархії використовуються апаратно-програмні компоненти для розв'язання задач відповідної складності, що характеризуються як одиницями інформації, так і алгоритмами обробки.

Збільшенню номера рівня ієрархії відповідає збільшення деталізації алгоритмічних, апаратних і програмних компонентів. При цьому на вищих рівнях ієрархії одиниці інформації, алгоритми, програмні та апаратні засоби представляють собою впорядковані сукупності одиниць інформації та композиції алгоритмів, програмних і апаратних засобів нижчих рівнів ієрархії. Методологія послідовної декомпозиції, яка використовується при розробці БСУТП, відображає процес розробки «зверху вниз». Процес синтезу БСУТП з використанням компонентно-орієнтованої технології описується за допомогою такого виразу:

$$C_{БСУТП}^1 = \bigcup_{i=1}^n C_{БСУТП}^{2i} \bigcup_{j=1}^m C_{БСУТП}^{3j},$$

де $C_{БСУТП}^{2i}$, $C_{БСУТП}^{3j}$ – відповідно апаратно-програмні компоненти другого та третього рівнів управління; n – кількість апаратно-програмних компонентів другого рівня; m – кількість апаратно-програмних компонентів третього рівня.

При проектуванні багаторівневих систем управління використовується як горизонтальну, так і вертикальну інтеграцію. Горизонтальна інтеграція передбачає об'єднання багаторівневих систем управління на одному рівні ієрархії, а вертикальна – об'єднує засоби управління сусідніх рівнів ієрархії.

Апаратні засоби БСУТП. Більшість апаратних засобів, які використовуються в БСУТП є вбудованими комп'ютерними системами, концепція розробки яких полягає в тому, що такі системи працюють, будучи вбудованими безпосередньо у пристрої, якими вони управляють. Особливістю таких систем є оптимізація їх архітектури для виконання визначених функцій у реальному часі. Основною елементною базою, яка використовується для реалізації таких систем є програмовані логічні контролери (ПЛК). Архітектура сучасних ПЛК орієнтована на обробку сигналів, контроль стану пристроїв і управління роботою виконавчих механізмів [9]. Основна задача ПЛК – це збір даних шляхом опитування вимикачів, давачів і в залежності від їх стану формувати управляючі сигнали для виконавчих механізмів. Сучасні ПЛК мають широкі можливості для програмування і внесення змін в уже існуюче програмне забезпечення. З використанням ПЛК розробляється для БСУТП апаратно-програмний компонент у вигляді модуля, який об'єднує реле, таймери, лічильники та перетворювачі. Можливість перепрограмування такої апаратно-програмної компоненти збільшила гнучкість і забезпечила швидку адаптацію БСУТП до змін. Апаратно-програмні компоненти, що реалізуються на базі ПЛК мають можливість дистанційного налаштування та управління, що значно розширили сферу їх застосування [9].

На рівні операторського контролю та формування управлінських рішень для розроблення апаратно-програмних компонентів використовуються промислові комп'ютери такі як Mitsubishi Electric, BECKHOFF, Eaton, AXIOMTEK, які відповідають промисловим умовам експлуатації з підвищеними вимогами до міцності та надійності. Апаратно-програмні компоненти, які використовуються для збору даних, контролю та управління виконавчими механізмами і технологічними процесами, реалізуються з використанням ПЛК сімейства STM, Modicon, LOGIC, MAXIM. Крім того як апаратні компоненти у БСУТП широко використовуються програмовані реле ZelioLogic, ZEN та Easy, які за своїми функціональними можливостями та габаритами повністю замінюють старі реле.

Мови програмування мікроконтролерних систем.

За останнє десятиліття з'явилося кілька технологічних мов програмування ПЛК, для яких розроблений стандарт МЕК 61131. Даний стандарт регламентує зміни в галузі мов програмування для систем управління технологічними процесами. Цей стандарт охоплює вимоги до апаратних засобів, монтажу, тестування, документації, зв'язку і програмування ПЛК. Стандарт визначає 5 мов програмування, які діляться на текстові та графічні. До текстових мов ПЛК відносяться:

- Instruction List (IL) – мова інструкцій;
- Structured Text (ST) – мова структурованого тексту.

Мова IL – типовий асемблер з акумулятором та переходами за позначками. Набір інструкцій стандартизовано, він не залежить від конкретної цільової платформи. Дана мова забезпечує роботу з будь-якими типами даних, виклики функцій та функціональні блоки, реалізовані іншими мовами. За допомогою IL реалізуються алгоритми будь-якої складності.

Мова ST – це мова високого рівня, яка синтаксично подібна до мови Паскаль. Замість процедур мови Паскаль в ST використовуються компоненти програм стандарту MEK.

До графічних мов ПЛК відносяться:

- Sequential Function Chart (SFC) – мова послідовних функціональних діаграм;
- Function Block Diagram (FBD) – мова функціонально-блокових діаграм;
- Ladder Diagrams (LD) – мова релейно-контактних схем;

Мова SFC – високорівневий графічний інструмент, у якій графічна діаграма складається із кроків і переходів між ними. Дозвіл переходу визначається умовою, а з кроком пов'язані певні дії.

Мова FBD – орієнтована на опис принципових схем електронного пристрою на мікросхемах. Провідники в FBD використовуються для передачі сигналів будь-якого типу (логічний, аналоговий, час тощо). Сигнали з виходів блоків можуть подаватися на входи інших блоків або безпосередньо на виходи ПЛК. Самі блоки, подані на схемі як «чорні ящики» можуть виконувати будь-які функції. За допомогою мови FBD забезпечується опис взаємозв'язку входів і виходів діаграми. Якщо алгоритм добре описується з позиції сигналів, то його FBD-подання завжди виходить наочніше, ніж у текстових мовах.

Мова LD – орієнтована на реалізацію структури електричних ланцюгів. Графічно LD-діаграма подається у вигляді двох вертикальних шин живлення. Між ними розміщені ланцюги, утворені з'єднанням контактів. Навантаженням кожному ланцюгу служить реле. Кожне реле має контакти, які можна використати в інших ланцюгах. Послідовне (I), паралельне (АБО) з'єднання контактів та інверсія (НЕ) утворюють базис Буля. У результаті мова LD ідеально підходить не тільки для побудови релейних автоматів, але й для програмної реалізації комбінаційних логічних схем. Завдяки можливості використання в LD функцій і функціональних блоків, виконаних іншими мовами, галузь її застосування збільшується.

Мови із стандарту MEK 61131 розроблені на основі найпопулярніших мов програмування для сучасних контролерів. Програми, які написані для сучасних контролерів, можна перенести в середовище MEK 61131-3 із мінімальними затратами. Особливістю стандарту MEK 61131 є можливість створення апаратно-незалежних бібліотек для реалізації регуляторів, фільтрів, керування приводами, модулі з нечіткою логікою тощо.

Для програмування контролерів мовами стандарту MEK 61131-3 розроблено середовище програмування CoDeSys (Controllers Development System), редактори та налагоджувальні засоби якого ґрунтуються на принципах популярних середовищ програмного програмування (VisualC++ тощо). Особливістю середовища програмування CoDeSys є те, воно не прив'язане до конкретної апаратної платформи. Під різні ПЛК здійснено модифікацію середовища програмування шляхом адаптації програми до низькорівневих ресурсів – розподілу пам'яті, інтерфейсів зв'язку та інтерфейсів введення-виведення. Середовища CoDeSys забезпечує: пряму генерацію машинного коду; повноцінну реалізацію мов стандарту MEK 61131-3; інтелектуальні редактори мов, які виправляють типові для початківців помилки; вбудований емулятор контролера, що забезпечує налагодження проекту без додаткових апаратних засобів; вбудовані елементи візуалізації забезпечують створення моделі об'єкту управління та налагодження проекту без виготовлення засобів імітації; використання готових бібліотек і сервісних функцій.

Технологія Device Hive. Для об'єднання між собою провідними та безпроводними каналами та під'єднання до мережі Інтернет давачів, мікроконтролерних систем і виконавчих механізмів у БСУТП використовується технологія Device Hive. Дана технологія гнучка, масштабована та проста в застосуванні, яка забезпечує обмін даними між апаратними компонентами БСУТП за принципом M2M. Застосування технології Device Hive забезпечує формування комунікаційного середовища, програмний контроль і використання мультитиплатформових бібліотек для розроблення засобів віддаленого управління та моніторингу, телеметрії, дистанційного управління та контролю. З технологією Device Hive можна працювати використовуючи широкий спектр технологій, наприклад “embedded Linux”, Python, бібліотеки C++, протокол JSON, або підключати AVR, Microchip мікроконтролери. Особливістю роботи з Device Hive є організація в першу доступу до мережі, а потім програмування конкретних застосувань, що зменшує час на проектування способів передачі даних.

Мікроконтролерні системи. Програмовані контролери Mitsubishi FX3U є найпотужнішими і високопродуктивними в лінійці контролерів MELSEC FX (FX1S, FX3S, FX1N, FX3G). Архітектура контролера є двошинною, що збільшує його можливості. Програмований контролер Mitsubishi забезпечує підключення як розширювальних модулів попереднього покоління, так і модулів нового покоління серії FX3U. При підключенні модулів FX3U контролер автоматично перемикає свою комутаційну шину на високошвидкісний режим і обмін даними відбувається на підвищеній швидкості. Модулі FX0N, FX2N працюють з контролером на звичайних швидкостях. Таким чином, використання розширювальних модулів забезпечує збільшення кількості входів/виходів до 256 (при прямій адресації), а через станції децентралізованого введення/виведення до 384.

Крім того, програмований контролер Mitsubishi забезпечує підключення високошвидкісних адаптерних модулів FX3U-XXX-ADP, які розширюють можливості контролера при роботі з аналоговими сигналами та збільшують кількість додаткових комунікаційних інтерфейсів (RS232 / 422/485) [11].

Одноплатний мікрокомп'ютер Raspberry Pi є перспективною платформою для систем автоматизації, який характеризується низькою ціною, своєю операційною системою та відкритістю архітектури. Мікрокомп'ютер Raspberry Pi побудований на системі (SoC) Broadcom BCM2835, яка включає в себе процесор ARM із тактовою частотою 700 МГц, графічний процесор VideoCore IV, і 512 або 256 мегабайт оперативної пам'яті, в якості додаткової пам'яті використовується SD картка [12]. Даний

мікрокомп'ютер випускається у двох версіях: молодша (A) (256 Мб ОЗП, один USB-порт) і старша (B) (з Ethernet, 512 Мб ОЗП, два USB-порти)

Для Raspberry Pi випущені спеціалізований дистрибутив Linux, Raspbian OS (він заснований на дистрибутиві Debian) і ряд застосунків Pi-Store, де є як платні, так і безплатні програми. Raspberry Pi має власні порти GPIO, які можна задіяти під різні функції.

Мікроконтролери сімейства STM8 – це відносно нове сімейство мікроконтролерів від компанії ST Microelectronics, в якому втілено мало не все, чого можна очікувати від 8 бітових програмованих контролерів. До переваг контролерів STM8 слід віднести в першу чергу низьку вартість, причому не тільки самого контролера, а і відлагоджувальних плат, програматорів та відладчиків. Вбудований bootloader дозволяє завантажувати програми з UART, SPI, CAN, або I2C. Надається безкоштовна бібліотека драйверів периферії. В компанії STM розробили бібліотеку модулів STM8x Firmware Library, яка є фреймворком для мікроконтролерів. Взагалі, у всьому ряді STM8 простежується підвищені вимоги до електромагнітної сумісності та надійності, що також є привабливим для їх використання [14].

До недоліків слід віднести відсутність контролерів з USB і в маловивідних корпусах (типу SO8). Наразі існує три сімейства STM8:

- STM8S - "standard" контролери загального застосування, зазвичай 10 бітна аналогова периферія, середнє за сучасними стандартами енергоспоживання та діапазон живлення – 2.95–5.5В.
- STM8L - "low-power" контролери з низьким споживанням, 12 бітова аналогова периферія, покращена електромагнітна сумісність і діапазон живлення – 1.8–3.6В. У порівнянні зі стандартними контролерами, в цьому сімействі додається деяка кількість периферії, зокрема, DMA.
- STM8A - "automobile" – сімейство зосереджено на безпеці і надійності, витримують більше навантажень на ніжки, діапазон живлення – 2.95–5.5В і працюють при 145 градусах [15].

STM8 має 8-бітве CISC ядро і містить 6 регістрів: A – *Accumulator* – одnobайтний акумулятор, який містить результат виконання будь-якої арифметико-логічної команди; X, Y – *Index* – двобайтні індексні регістри, які можуть містити відносну адресу комірок пам'яті з якими можна виконувати операції; PC – *Program counter* – трибайтний програмний лічильник, який містить абсолютну адресу комірки пам'яті, що містить команду, яка на даний момент виконується; SP – *Stack Pointer* – двобайтний вказівник верхівки стеку, який має свою пам'ять; CC – *Condition Codes* – одnobайтний регістр прапорців (Flags), що містить бітові ознаки результату арифметико-логічної команди, які можна використовувати для розгалужень в програмі [8].

Мікроконтролер STM8 має 32 вектори переривань, кожен з яких являє собою 4-х байтну (старший байт містить зарезервоване значення 82h) адресу початку підпрограми-обробника відповідної події, що спричинила переривання. Вихід з обробника переривань здійснюється командою IRET.

У мікроконтролері STM8 частоту тактових імпульсів можна змінювати в процесі роботи, на відміну від AVR, де тактування жорстко прошивається. У застосунках з низьким споживанням це інколи застосовується, при цьому, при збої генератора, контролер перемикається на RC і переходить в режим переривання, в результаті система не залишиться без управління.

Пам'ять мікроконтролера умовно розділена на секції по 64К, а кожна секція – на 256 сторінок по 256 байт кожна. Мікроконтролер STM8 дозволяє наступні способи адресації: безпосередню, індексну, пряму, стекову, непряму, бітову та відносну. В залежності від довжини операнду режим адресації ділиться на короткий – 1 байт, довгий – 2 байти та розширений – 3 байти.

З практичної точки зору, в першу чергу слід звернути увагу на єдиний 24-бітовий адресний простір, в якому розміщено Flash-пам'ять, ОЗУ, Еeprom, а також регістри периферії. Це істотно спрощує написання коду, наприклад, функції для роботи з масивами з ОЗУ і Flash-пам'яті не потрібно писати в декількох примірниках. Коди різних стеків і бібліотек легко перетворюються, так як в основному розраховані на архітектуру фон Неймана (в сенсі адресного простору). При цьому шини для доступу до різних типів пам'ятей розділені, що вказує на наявність Гарвардської архітектури [16].

Висновки

1. Проектування сучасних багаторівневих систем управління технологічними процесами здійснюється на основі системної інтеграції, яка ґрунтується на системному підході, що охоплює всі рівні інтеграції процесів, об'єктів, суб'єктів та інфраструктури з врахуванням ефективності їх застосування та вимог конкретного застосування.

2. Системну інтеграцію пропонується здійснювати на основі компонентно-орієнтованої технології, яка передбачає поділ процесу розробки на ієрархічні рівні та види забезпечення: алгоритмічне, апаратне та програмне.

3. Розроблення швидкодіючих, малогабаритних та з малою потужністю енергоспоживання апаратних компонент багаторівневої систем управління здійснюється на базі мікроконтролерів з фіксованою комою, невеликою розрядною сіткою, усіченим інтерфейсом і скороченою системою команд.

4. Для програмування мікроконтролерів доцільно використовувати середовище програмування CoDeSys (Controllers Development System), редактори та налагоджувальні засоби якого ґрунтуються на принципах середовищ професійного програмування (VisualC++ тощо).

5. У сучасних багаторівневих систем управління технологічними процесами для об'єднання давачів, мікроконтролерних систем і виконавчих механізмів між собою провідними та безпроводними каналами та під'єднання їх до мережі Інтернет доцільно використовувати технологію Device Hive.

Література

1. Mikell P. Groover. Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing / 4th Edition by G. Jayaprakash. – Pearson Education Limited, 2016. – 798 p. – ISBN 10: 1-292-07611-9.
2. James A. Rehg. Computer-Integrated Manufacturing / James A. Rehg, Henry W. Kraebber. – 3rd Edition. – Prentice Hall, 2012. – 592 p. – ISBN 10: 0131134132.
3. Paulo Leitao. Agent-based distributed manufacturing control: A state-of-the-art survey / Engineering Applications of Artificial Intelligence. – Volume 22, Issue 7 (2009). – 979–991.
4. Herve Panetto. Enterprise integration and interoperability in manufacturing systems: Trends and issues / Herve Panetto, Arturo Molina. – Computers in industry Volume 59, Issue 7 (2008). – 641–646.
5. Artificial neural networks for intelligent manufacturing / Edited by Cihan H. Dagli. – Intelligent Manufacturing Series, Springer Science & Business Media, 2012. – ISBN 978-94-010-4307-6.
6. Інтелектуальні компоненти інтегрованих автоматизованих систем управління : монографія / Медиковський М.О., Ткаченко Р.О., Цмоць І.Г., Цимбал Ю.В., Дорошенко А.В., Скорохода О.В. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 280 с.
7. Цмоць І.Г. Визначення задач і формування вимог до інтелектуальних компонентів інтегрованих АСУ / І.Г. Цмоць, О.В. Скорохода // Технічні вісті : науково-технічний журнал. – 2014. – 2(40), 2(34). – С. 53–54.
8. Цмоць І.Г. Багатоканальний пристрій з буферизацією даних для автоматизованих систем управління технологічним процесом з промисловою мережею / І.Г. Цмоць, Б.А. Демида, Х.Г. Гульовата // Науковий вісник національного лісотехнічного університету України : збірник науково-технічних праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.5. – С. 275–284.
9. Цмоць І.Г. Проектування багатоканального пристрою обміну даними для АСУ ТП з промисловою мережею / І.Г. Цмоць, М.Р. Подольський // Системні технології : регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2009. – Випуск 6 (65). – С. 131–140.
10. Харазов В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами / Харазов В.Г. – СПб : Профессия, 2009. – 592 с.
11. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах : навчальний посібник / Пупена О.М., Ельперін І.В., Луцька Н.М., Ладанюк А.П. – К. : Вид-во «Ліра-к», 2011. – 552 с.
12. Пьявченко Т.А. Проектирование АСУТП в SCADA-системе : учебное пособие / Пьявченко Т.А. – Таганрог : Изд-во Технологического института ЮФУ, 2007. – 84 с.
13. Bjorn Solvang, Gabor Sziebig, and Peter Korondi. Multilevel Control of Flexible Manufacturing Systems / Int. Conf. on Flexible Manufacturing Systems, Krakow, Poland, May 25–27, 2008, pp. 785–790.
14. S.H. Suh, B.E. Lee, D.H. Chung, S.U. Cheon. Architecture and implementation of a shop-floor programming system for STEP-compliant CNC / Computer-Aided Design, vol. 35, Elsevier, 2002, pp. 1069–1083.
15. X.W. Wu. Realisation of STEP-NC enabled machining / Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 22, Elsevier, 2006. – 144–153.
16. Tancheng Xie, Yuanzhou Xu, Xiang Nan, Hongru Wang, Yuanwei Xu. R&D of General Machine-Oriented Manufacturing Unit / International Conference on Mechatronics and Automation, 2006. – 457–462.
17. Nuno Lopes, Pedro Lima. OpenSDK – An Open-source Implementation of OPEN-R / Proc. of 7th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS 2008), Estoril, Portugal, 2008.
18. Noriaki Ando, Geoffrey Biggs, Tetsuo Kotoku. Robotic Component Specification / Document 12-09-01.pdf of AIST-National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2012. – 22 p.
19. D. Y. Chao. Enumeration of lost states of a suboptimal control model of a well-known S3PR / IET Control Theory & Applications, Volume 5, Issue 11, (2011). – 1277–1286.
20. Шишов О.В. Современные технологии промышленной автоматизации [Электронный ресурс] : учебник / О. В. Шишов. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 273 с. – Режим доступа : <http://схем.net/promelectr/promelectr5.php>
21. Минаев И.Г. Программируемые логические контроллеры : практическое руководство для начинающего инженера / И.Г. Минаев, В.В. Самойленко. – Ставрополь : АГРУС, 2009. – 100 с.
22. Яковлев О.Г. Программирование ПЛК / Яковлев О.Г. – Москва, 2001.
23. Программируемые логические контроллеры Mitsubishi Electric [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.sovras.com/fx.php>
24. <http://www.raspberrypi.org/archives/2180>
25. <http://raspberrypi.ru/page/doc/>
26. <http://eu.mouser.com/new/stmicroelectronics/stm8s-mcus/>
27. http://www2.st.com/content/st_com/en.html
28. <http://www.compel.ru/lib/ne/2013/8/8-stm8-dlya-chaynikov-pervyie-shagi-v-srede-iar/>

Рецензія/Peer review : 4.8.2016 р. Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.

Рецензент: д.т.н. Пелешко Д. Д.

ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА «ВИЗНАЧЕННЯ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ РИЗИКУ ВИРОБНИЧИХ ОБ'ЄКТІВ»

Пропонується розробка експертної системи мовою логічного програмування Visual Prolog для виявлення ризиків на технічному виробництві та шляхи їх запобігання, в ході проектування якої використовувався структурний підхід до процесу побудови моделі предметної області.

Ключові слова: експертна система, база знань, технічний ризик, Visual Prolog.

O.O. PETROVA, D.L. AKSONOVA

Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture

EXPERT SYSTEM "VALUATION RISK PARAMETERS IN FACILITIES"

Authored expert system (ES), which is implemented in logic programming Visual Prolog, lets you set up a mechanism inference on the characteristics of domain knowledge and take into account the uncertainty in identifying risks in technical production. When designing the authors used ES structural approach to the process of constructing the model domain. The proposed ES based modelling ideas laid accounting impact physiological properties of the human operator, machine reliability factors (equipment), working environment and comfort level of technology on human quality of operator activity. The authors developed an expert system that is designed to determine the technical line at work, in addition to the possibility of diagnosing risk situation allows states to obtain a preliminary assessment of the possible risks and ways to prevent them.

Keywords: expert system, knowledge base, technological risk, Visual Prolog.

Вступ

В останні роки стрімко зростає інтерес до проблем екологічної безпеки, до розробки методів оцінки техногенних впливів на екологічні системи і здоров'я населення, до оцінки ризиків і економічних втрат, що створюються такими впливами, і пошуку шляхів, що забезпечують їх зниження. До кінця минулого століття майже всі техногенні системи розроблялися без урахування екологічного ризику і ризику виникнення аварій та катастроф. Проблема оцінки ризику є виключно важливою, оскільки сучасні системи управління техногенною та екологічною безпекою базуються саме на методах оцінки ризику. При оцінці ризику для здоров'я населення використовуються наукові знання медицини, токсикології, хімії, фізики, сучасні методи математичної статистики та інших наук.

Постановка проблеми

Аварії можуть відбуватися в силу найрізноманітніших причин, серед яких можуть бути і помилки персоналу, і технічні несправності, і помилки, допущені при проектуванні, і відмова тих або інших механізмів і пристроїв, зовнішній вплив природних сил і багатьох інших факторів. Всі аварії мають спільну ознаку – вони являють собою неконтрольовані події, які можуть стати причиною смерті і травм великої кількості людей, призводити до великих економічних втрат і забруднення навколишнього середовища. При оцінці масштабів аварій і катастроф за основу можуть прийматися різні показники: кількість загинулих, загальне число постраждалих, економічні втрати, шкоди навколишньому середовищу та інші.

У багатьох наукових публікаціях часто під техногенним ризиком розуміють не утворення частоти нештатної події і шкоди від неї, а саму величину ймовірності настання події на небезпечному виробничому об'єкті (поломка, аварія, інцидент, нещасний випадок) [1]. На сьогоднішній день відомі і рекомендовані до застосування в нормативних документах методи кількісної оцінки техногенного ризику, наприклад, "потоків графі", "дерева подій", які мають суттєві недоліки. По-перше, вони надзвичайно трудомісткі і вимагають високої кваліфікації виконавців. По-друге, для їх реалізації необхідні численні кількісні вихідні дані. Зазначені недоліки є безпосередньою причиною того, що ці методи не знаходять широкого практичного застосування [2].

Ситуацію вирішує створення експертної системи (ЕС) оцінки технічного ризику небезпечних виробничих об'єктів. Одним з найбільш популярних визначень експертної системи є наступне: «ЕС – це втілення в ЕОМ компоненти досвіду експерта, яка заснована на знаннях, в такій формі, що машина може дати інтелектуальну пораду або прийняти інтелектуальне рішення відносно функції, що обробляється. Бажана додаткова властивість – здібність системи за вимогою пояснити хід своїх міркувань зрозумілим для користувача чином. Забезпечується ця властивість в результаті програмування, яке засноване на формальних правилах» [3, 4]. Обчислювальним ядром експертної системи є модель процесу виникнення подій в людино-машинних системах. Таке моделювання дає можливість одночасно враховувати велику кількість розрізнених вхідних параметрів. У свою чергу сама система дозволяє знизити кваліфікаційний рівень користувача, а також зменшити трудомісткість виконуваних оціночних робіт.

Авторами розроблена ЕС, яка дозволяє класифікувати ризики виникнення катастрофічної ситуації на виробництві та яка видає рекомендації стосовно дії персоналу в ситуаціях, що склалися, при ліквідації аварії на виробництві.

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Експертна система [5] спеціалізується на проведенні аналізу ризику небезпечних виробничих об'єктів. За допомогою методології оцінки ризику, яка включає аналіз частоти, наслідків несприятливих подій і невизначеностей результатів, зазначається, що заходи по зменшенню ймовірності аварії повинні мати пріоритет над заходами по зниженню наслідків аварій.

В запропонованій ЕС в основу ідеї моделювання покладено облік впливу психофізіологічних властивостей людини-оператора, факторів надійності машини (обладнання), комфортності робочого середовища та рівня технології на якість виконання людиною операторської діяльності. Основними етапами розробки ЕС є: структурування отриманих даних, виявлення відхилень процесу від вимог технології, оцінка необхідності та способів втручання в нього людини, прийняття та реалізація рішення по коригуванню операції при необхідності.

Проаналізовані експертні системи є досить схожими, однак розроблена авторами експертна система, яка призначена для визначення технічного ризику на виробництві, крім можливості діагностування ризикових станів ситуації надає можливість отримувати попередню оцінку можливих ризиків і шляхи їх запобігання.

Проектування та реалізація експертної системи

Аварійні та катастрофічні ситуації у техногенній сфері на потенційно небезпечних об'єктах можна об'єднати за такими типами [6]: режимні (виникають при штатному функціонуванні потенційно небезпечних об'єктів, наслідки від них передбачувані, захищеність від них висока); проектні (виникають при виході за межі штатних режимів з передбачуваними і прийнятними наслідками, захищеність від них достатня); запроектовані (виникають при необоротних пошкодженнях важливих елементів з високими збитками і жертвами; ступінь захищеності від них недостатня, з необхідністю проведення відновлювальних робіт); гіпотетичні (можуть виникати при варіантах, не передбачених заздалегідь і сценарії розвитку з максимально можливими збитками і жертвами; захищеність від них низька, прямого відновлення об'єкти не підлягають).

При техногенних аваріях і катастрофах виникають як окремі, так і об'єднані вражаючі фактори: радіаційне випромінювання, хімічно небезпечні речовини, бактеріологічне зараження, вибухові і ударні хвилі, теплове випромінювання, механічні пошкодження, електромагнітне випромінювання. Ці вражаючі фактори впливають на людей, об'єкти і навколишнє середовище.

Велику екологічну небезпеку становлять техногенні катастрофи, які супроводжуються викидом шкідливих хімічних та радіоактивних матеріалів у навколишнє середовище. За даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій щорічно в країні виникають більше 1000 техногенних аварій та катастроф з екологічними наслідками [7]. Поєднання факторів техногенної та природної безпеки значно збільшує ризик виникнення надзвичайних ситуацій і підсилює їх негативні наслідки. Якісна оцінка потенційних наслідків для кожного небезпечного стану надається відповідно з наступними критеріями:

- клас I – безпечний. Стан, пов'язаний з помилками персоналу, недоліками конструкції або її невідповідністю проекту, а також неправильною роботою, не призводить до суттєвих порушень і не викликає пошкодження обладнання та нещасних випадків з людьми;
- клас II – граничний. Стан, пов'язаний з помилками персоналу, недоліками конструкції, її неправильним функціонуванням або невідповідністю проекту, призводить до порушення в роботі;
- клас III – критичний. Стан, пов'язаний з помилками персоналу, недоліками конструкції, її неправильним функціонуванням або невідповідністю проекту, призводить до суттєвих порушень у роботі, пошкодження обладнання та створює небезпечну ситуацію, що вимагає прийняття негайних заходів з порятунку персоналу та обладнання;
- клас IV – стан, пов'язаний з помилками персоналу, недоліками конструкції, її неправильним функціонуванням або невідповідністю проекту, повністю порушує роботу і призводить до подальшої втрати обладнання і/або загибелі або масового травмування персоналу.

ЕС, що розглядається, вміщує базу даних, яка накопичується в процесі її побудови. Знання організовані таким чином, щоб спростити прийняття рішень. Знання є явними та доступними і представлені в вигляді правил. Розроблена ЕС функціонує в якості моделі рішення задачі при виникненні техногенних аварій та катастроф, видаючи рекомендації в конкретній ситуації. В розробленій ЕС вміщується інформація про потенційні ризики при техногенних катастрофах. За допомогою діагностування різних станів системи "людина – машина – середовище", було виділено основні характеристики: вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони, високий рівень загальної вібрації, негативні показники мікроклімату, зміни навантаження на навколишнє середовище, коректне використання електромагнітних приладів, вплив людей і технічних засобів на природне середовище, використання резервів для ліквідації надзвичайних ситуацій, можливість безпосереднього впливу навколишнього середовища на організм людини, вміння керувати автоматами в технічних системах, порушення роботи систем або об'єктів життєзабезпечення людей в місцях проживання, ускладнення нормального функціонування органів людини, що працює з хімічно небезпечними речовинами (пестицидами), токсичними для людини, використання і перевезення функціонуючих отруйних речовин автотранспортом в балонах, контейнерах та автоцистернах, безпека функціонування хімічно небезпечних об'єктів, сприятливі метеорологічні умови, щоденний хімічний контроль.

Слід зауважити, що авторами розглядаються та класифікуються такі ризики техногенної катастрофи як:

катастрофічно великий, надзвичайно великий, дуже великий, великий, вище середнього, середній, нижче середнього, малий, дуже малий, відсутній ризик.

При цьому для кожного типу ризику передбачено визначені характеристики та написані правила мовою Visual Prolog [8, 9]. Програма починає роботу з запрошення та повідомлення про необхідність відповідати на питання тільки по – ні або yes – так:

```
positive(X):-xpositive(X),!; xnegative(X),!,fail; ask(X,'y').
negative(X):-xnegative(X),!; xpositive(X),!,fail; ask(X,'n').
ask(X,R):-write(X),readchar(Reply),write(Reply,"\\n"),
remember(X,Reply),R=Reply.
xpositive(X):-yes(X).
xnegative(X):-no(X).
```

Після додавання усіх відповідей до бази програма виводить результат та рекомендації, спираючись на заздалегідь введені правила та факти. В результаті діалогу з користувачем ЕС визначає ступінь ризику техногенної катастрофи та видає рекомендації (рис. 1).

Нарушение работы систем или объектов жизнеобеспечения людей в местах проживания: n
 Осложнение нормального функционирования органов человека: n
 Работа с химическими небезопасными веществами (пестицидами), токсичными для человека: n
 Использование и перевозка сильнодействующих отравляющих веществ автотранспортом в баллонах, контейнерах и автоцистернах: n
 Безопасность функционирования химически небезопасных объектов: y
 Благоприятные метеорологические условия: y
 Ежедневный химический контроль: y
 Технический риск на производстве: Отсутствует.
РЕКОМЕНДАЦИЯ:
 Ни одно предприятие не застраховано от возникновения рисков.
 Единственное, что может помочь вам избежать катастрофических последствий,-
 это предусмотрительное выявление потенциально возможных рисков.

Рис. 1. Фрагмент вводу користувачем початкових даних для визначення ризику та вивід рекомендацій

Висновки

Експертні системи – це програми, які здатні накопичувати знання, що вміщуються в різних джерелах, моделювати процес експертизи та орієнтовані на розв’язання задач, що зазвичай вимагають проведення експертизи людиною-експертом. ЕС вирішують завдання у вузькій предметній області на основі дедуктивних міркувань. Такі системи часто виявляються здатними знайти вирішення задач, які неструктуровані і погано визначені. ЕС справляються з відсутністю структурованості шляхом залучення евристик.

Запропонована ЕС забезпечує автоматизовану формалізацію предметної області, що розглядається, на основі вербального опису її об’єктів. Створення експертної системи оцінки технічного ризику небезпечних виробничих об’єктів дає можливість проводити аналіз цих ризиків та надає можливість діагностування ризикових станів системи з подальшим одержанням попередньої оцінки можливих ризиків і шляхів їх запобігання.

Література

1. Касьяненко А. А. Анализ риска аварий техногенных систем / А.А. Касьяненко, К.Ю. Михайличенко. – М. : РУДН, 2008. – 182 с.
2. Браун Девід Б. Анализ и разработка систем обеспечения техники безопасности / Б. Девід Браун. – М. : Машибудування, 1979. – 359 с.
3. Джексон. М. Введение в экспертные системы / М. Джексон. – М. : Вильямс, 2001. – 701 с.
4. Хейес-Рот Ф. Построение экспертных систем / Ф. Хейес-Рот. – М. : Мир, 1987. – 286 с.
5. Гражданкін А. І. Експертна система оцінки техногенного ризику небезпечних виробничих об’єктів / А. І. Гражданкін, П. Г. Белов. – М. : Пенза, 2002. – 24 с.
6. Попов В.М. Інформаційна технологія підвищення техногенної безпеки регіону / В.М. Попов, І.А. Чуб, М.В. Новожилова // Системи обробки інформації. – 2015. – Випуск 12 (137). – С. 181–184.
7. Попов В.М. Имитационная модель производственной системы с потенциально опасными объектами / В.М. Попов, М.В. Новожилова // Радиоэлектроника и информатика. – 2014. – Выпуск 4. – С. 24–29.
8. Адаменко А. Логическое программирование и Visual Prolog / А. Адаменко, А. Кучуков. – СПб : БХВ, Петербург, 2003. – 990 с.
9. Братко И. Программирование на языке «Prolog» для искусственного интеллекта / И. Братко. – М. : Мир, 1990. – 315 с.

Рецензія/Peer review : 16.6.2016 р.

Надрукована/Printed : 25.8.2016 р.
 Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Сізова Н.Д.

УДК 004.047.22.37.07.

О.І. ЛАКТИОНОВ

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В СИСТЕМІ ОЦІНКИ РІВНЯ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНЦІЇ ПЕРСОНАЛУ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Досліджено інформаційне та програмне забезпечення в системі оцінки рівня професійної компетенції персоналу промислових підприємств. Проведено аналіз автоматизованих систем оцінки персоналу методом компетенцій. Здійснено аналіз методів автоматизованого контролю знань та методів автоматизованого визначення рівня мотивації персоналу промислових підприємств.

Ключові слова: Інформаційне забезпечення, програмне забезпечення, професійна компетенція, оцінка, персонал, промислове підприємство.

A.I. LAKTIONOV

Poltava National Technical Yuriy Kondratiuk University

INFORMATION AND SOFTWARE IN THE SYSTEM OF ASSESSING THE LEVEL OF PROFESSIONAL COMPETENCE OF THE PERSONNEL OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

Abstract. The main priority of the modern school of higher education is to address improving the quality of training of future specialists. Scientific and technical progress in information technology allows us to solve technical problems on a new level. Professional work requires the provision of future specialists of new knowledge and skills that they could use for applications. In addition, the current problems related to the environmental, economic and social processes. The solution to this class of problems and their implementation must always be assessed from the point of view of safety to the environment, the cultural heritage of society and society as a whole. Thus, in addition to the knowledge and skills required to build professional competencies of future professionals found personal and professional qualities that are part of the components of the professional competence of the expert in any industry. Information and software in the system of assessing the level of professional competence is a key element, to improve the level of training of future specialists.

Objective. Explore the information and software system-level evaluation of the professional competence of the personnel of industrial enterprises. Analyze the automated systems of evaluation of personnel competence method. To carry out the analysis of methods of the automated control of knowledge and methods of the automated determination of the level of motivation of the personnel of industrial enterprises.

Research methods. The study used a number of methods of scientific knowledge such as induction, deduction, system approach.

The main results and conclusions. Automated control of knowledge is carried out in an industrial plant testing methods for discrete or continuous scale. The means for the implementation of these automated methods of control knowledge are the tests. Motivation of staff of the enterprise is determined by applying the methods of interviewing, questioning and testing. Use of automated information technology allows the use of mathematical modeling to improve existing methods of personnel evaluation and processing of the results of the automated testing as part of the tasks.

Keywords. Information, software, expertise, evaluation, personnel, manufacturing plant.

Вступ

Головним пріоритетом розвитку сучасної школи вищої освіти є вирішення питань підвищення якості підготовки майбутніх фахівців. Науково-технічний прогрес у галузі інформаційних технологій дозволяє вирішувати технічні завдання на новому рівні [5]. Професійна діяльність вимагає надання майбутнім фахівцям нових знань і навичок, які вони могли б використовувати для вирішення прикладних завдань. Крім того, сучасні проблеми пов'язати з екологічними, економічними і соціальними процесами. Рішення проблем цього класу та їх реалізація завжди повинні бути оцінені з точки зору безпеки для навколишнього середовища, культурної спадщини суспільства та суспільства загалом. Таким чином, крім знань і навичок, необхідних для побудови професійних компетенцій майбутніх фахівців виявлені особисті, професійні якості, які є частиною компонентів професійної компетентності фахівця будь-якої галузі. Інформаційне та програмне забезпечення в системі оцінки рівня професійної компетенції, є ключовою ланкою, щодо підвищення рівня підготовки майбутніх фахівців.

Мета роботи

Дослідити інформаційне та програмне забезпечення в системі оцінки рівня професійної компетенції персоналу промислових підприємств. Провести аналіз автоматизованих систем оцінки персоналу методом компетенцій. Здійснити аналіз методів автоматизованого контролю знань та методів автоматизованого визначення рівня мотивації персоналу промислових підприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

За останні десять років, проблеми професійної компетентності фахівця, а також аналіз вимог до професійних якостей були вивчені багатьма вченими, до їх числа варто віднести І. Драча, О. Пономарьова [7], А. Протасова [8], С. Резніка [10], О. Г. Берестневу, С. А. Муратову [4] та багатьох інших.

На думку А. Протасова професійна компетентність фахівця являє собою складну структуру, на основі когнітивного компонента освіти, досвіду, а також здатності фахівця, передбачати соціальні наслідки своєї діяльності для громадськості.

В. Петрук, розглядаючи питання професійної компетентності майбутніх фахівців технічних спеціальностей, виділяє найбільш значущими такі професійні якості як відповідальність, самоуправління та професійна самооцінка [9]. Це є немаловажним аспектом-доповненням до шести основних компонентів професійної компетентності фахівців виділених А. Протасовим.

Застосування комп'ютерного аналізу даних в системі оцінки рівня професійної компетенції

розглядають О. Г. Берестнева, Є. А. Муратова. Вони виділяють кілька основних напрямків застосування інформаційних технологій з відокремленням низки механізмів впровадження.

Проте, незважаючи на масштаби наукових досліджень та враховуючи існуючий взаємозв'язок між рівнем підготовки фахівців та їх подальшим професійним розвитком у рамках займаної посади та отриманої професійної спеціалізації питання актуалізації інформаційного та програмного забезпечення в системі оцінки рівня професійної компетенції персоналу промислових підприємств залишається відкритим та потребує детального вивчення.

Виклад основного матеріалу дослідження

В умовах сталого розвитку, на території не тільки сучасної України, а й світу загалом, великі промислові підприємства, у своїй діяльності, застосовують комп'ютерні засоби оцінки персоналу. На сьогодні, стало стандартом забезпечувати систему управління на підприємстві комп'ютерними системами оцінки персоналу, що полегшує і прискорює процес оцінювання рівня професійного розвитку фахівців.

Комп'ютерні засоби оцінки персоналу, мають на меті застосування двох взаємодоповнюючих складових. Перша – програмоване навчання. У його рамках розробляються і експлуатуються автоматизовані оцінювані системи (АОС) з різних професійних напрямків. Фундаментальною основою систем оцінювання персоналу підприємства є так звані авторські системи, що дозволяють розробнику вводити свій оцінюваний матеріал у базу даних і програмувати його за допомогою спеціальних авторських мов або інших засобів алгоритми його застосування. Характерним представником АОС, побудованим на алгоритмах програмованого оцінювання, тривалий час була система Extended DISC [13].

Другою складовою є створення автоматизованих систем проектування та забезпечення робочого місця. Такі системи складаються з персоналу і комплексу засобів автоматизації (КЗА) його діяльності, який реалізує інформаційну технологію виконання встановлених функцій. Сутність даних систем передбачає автоматизацію трудомістких розрахунків, оптимізації, дослідження властивостей об'єктів і процесів на математичних моделях і т.п. для полегшення роботи персоналу.

В силу новітніх розробок у сфері ІТ-технологій відбувається трансформація терміну "комп'ютерні технології" у більш сучасне представлення "інформаційні технології".

Інформаційні технології – це процеси та методи пошуку, збору, обробки, накопичення, представлення і використання інформації за допомогою електронних засобів [14]. Так, суть інформаційного та програмного забезпечення в системі оцінки персоналу промислових підприємств визначається як створення умов фахівцям промислових підприємств для вільного доступу до активної інформації щодо навчання та оцінювання професійної компетенції.

До складу програмного забезпечення в системі оцінки персоналу промислових підприємств входять апаратні, програмні та інформаційні компоненти.

Для досягнення максимальних результатів у рамках оцінювання персоналу промислових підприємств на сучасному українському ринку ІТ-технологій існують рішення для комплексної автоматизації процесів оцінювання персоналу методом компетенцій.

Широкий функціонал автоматизованих систем оцінки персоналу, а також можливості інтеграції з іншими програмними продуктами забезпечує масштабне використання зазначених систем на промисловому підприємстві.

До останніх та найбільш використовуваних розробок відноситься: система оцінки персоналу методом зворотного зв'язку HR.360 [12], експертна система Русерс-К [6] та автоматизована система SystemKey [1].

Таблиця 1

Порівняльний аналіз автоматизованих систем оцінки персоналу методом компетенцій

Характеристика	Назва системи	HR.360	Русерс-К	SystemKey
Розробка індивідуальних критеріїв оцінювання персоналу під окреме підприємство		+	+	+
Можливість використання наявних критеріїв оцінювання фахівців		+	+	+
База експертних знань актуальних компетенцій		-	+	-
Можливість формування тестів професійних знань на навиків		-	-	+
Автоматичний збір даних		+	+	+
Автоматична обробка результатів оцінки персоналу		+	+	+
Автоматична генерація звітів згідно кожного робітника		+	+	+
Можливість контролю процесу на будь-якому етапі оцінки персоналу		+	+	-
Графічне представлення результатів оцінювання персоналу		+	+	+

Автоматизований контроль знань на промисловому підприємстві здійснюється методами тестування з дискретною або безперервною шкалою. Засобами для реалізації даних методів автоматизованого контролю знань виступають тести.

Методи організації тестового контролю знань можна розділити на: не адаптивні, частково адаптивні методи і повністю адаптивні методи.

Класифікація представлена на рис. 1.

Адаптивні методи здійснюють контроль згідно чіткої моделі досліджуваного, при проведенні оцінки враховується рівень професійної підготовки, особисті якості фахівця, особливості поведінки під час проведення оцінювання, вірність відповіді (якщо запитання вимагає такої).

Більшість автоматизованих систем оцінки знань в основі мають адаптивні методи оцінки знань.

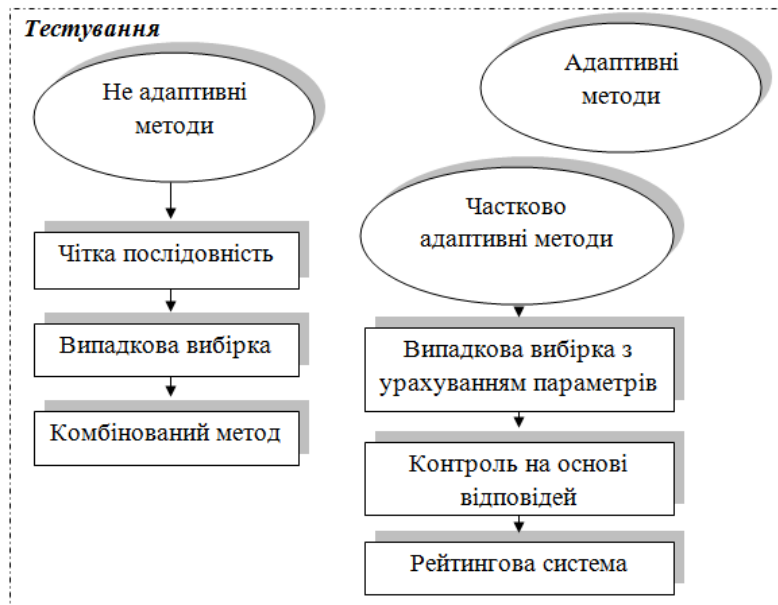


Рис. 1. Класифікація методів тестового контролю знань

Схема роботи системи в загальному вигляді представлена на рис. 2.

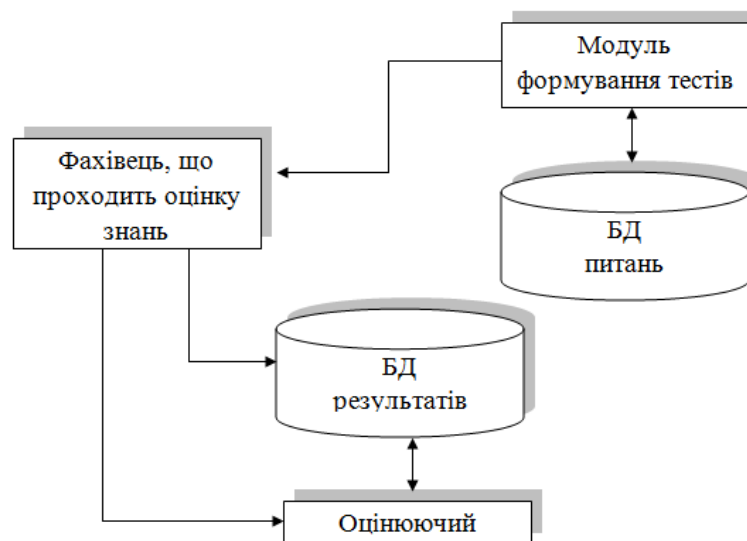


Рис. 2. Схема автоматизованої системи оцінки знань персоналу

Розглянемо автоматизовану систему побудовану за таким принципом, реалізовану у вигляді декількох програмних модулів, що працюють з двома базами даних (БД питань і БД результатів тестування). Для вирішення різних завдань система може доповнюватися різними модулями і алгоритмами роботи цих модулів.

Використання автоматизованих інформаційних технологій дозволяє використовувати математичне моделювання для вдосконалення існуючих методів оцінки персоналу та обробки результатів автоматизованого тестування у рамках поставлених завдань.

Визначення рівня мотивації персоналу промислових підприємств дозволяє ранжувати працівників за ступенем ціннісних орієнтацій, сформулювати фактори, що впливають на рівень якості виконання службових обов'язків, оцінити взаємовідносини з керівництвом і співробітниками підприємства. Як результат – бажання працівника підвищити рівень власного професіоналізму та компетентності дозволить розробити заходи щодо планування кар'єрного росту кожного окремого фахівця певної галузі, канонізувати статусні характеристики у групах різних функціональних напрямків і відповідний їм престиж.

До найбільш поширених методів виявлення мотивів персоналу можна віднести співбесіду, тестування і анкетування. Співбесіда може проводитися по методу STAR [2].

STAR (Situation – Task – Action – Result або Ситуація – Завдання – Дія – Результат). Даний метод виявлення мотивів персоналу засновано на питаннях по конкретних ситуаціях з життя досліджуваного. Відповіді на ці питання показують наявність у нього тієї чи іншої компетенції.

При тестуванні у вітчизняній практиці найчастіше використовуються такі тести як методика оцінки Смейкла-Кучери; методика діагностики трудових мотивів В. І. Герчикова і так далі.

В основі методики Смейкла-Кучери закладено три спрямованості: особистісна (на себе), колективістська (на взаємодію) і ділова (на завдання). Запропоновані спрямованості не є ізольованими, а зазвичай поєднуються і в кожній людині мають свою ступінь вираженості. У процесі виконання тесту виробляється фіксація словесних реакцій фахівця на певні ситуації [11].

Типологічна модель В. І. Герчикова будується на перетині двох осей – мотивації і трудового поведіння. Автор розділив всі трудові мотивації на два типи:

- мотивація досягнення – це прагнення отримати винагороди за працю;
- мотивація уникнення – прагнення уникнути покарання за неналежне виконання професійних обов'язків [3].

Анкетування припускає м'якші, «немедичні» інструменти оцінки мотиваційної сфери персоналу. Виробляється анкетування, у своїй більшості, у рамках заповнення анкет, оцінка яких проводиться автоматично на ЕОМ.

Можливість проведення об'єктивного тестування як метод виявлення мотивів персоналу багатьма фахівцями ставитися під сумнів, хоча все одно активно використовується.

Висновки

Автоматизований контроль знань на промисловому підприємстві здійснюється методами тестування з дискретною або безперервною шкалою. Засобами для реалізації даних методів автоматизованого контролю знань виступають тести. Мотивацію персоналу підприємства визначають шляхом застосування методів співбесіди, анкетування та тестування. Використання автоматизованих інформаційних технологій дозволяє використовувати математичне моделювання для вдосконалення існуючих методів оцінки персоналу та обробки результатів автоматизованого тестування у рамках поставлених завдань.

Література

1. Автоматизована система SystemKey [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.sk-systemkey.ru/articles/testirovanie_personala
2. Барышникова Е.И. Оценка персонала методом ассессмент-центра. Лучшие HR-стратегии / Елена Барышникова. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 255 с.
3. Базаров Т.Ю. Технология центра оценки персонала: процессы и результаты : практическое пособие / Т.Ю. Базаров. – М. : Кнорус, 2011. – 304 с.
4. Берестнева О. Г. Компьютерный анализ данных / Берестнева О. Г., Муратова Е. А. – Томск : Изд-во Томского государственного педагогического университета, 2010. – 304 с.
5. Драч І. І. Компетентнісний підхід як засіб модернізації змісту вищої освіти / І. І. Драч // Проблеми освіти : наук.-метод. зб. / кол. авт. – К. : Ін-т інноваційних технологій і змісту освіти МОН України, 2009. – Вип. 58. – Ч. 1. – С. 176–180.
6. Експертна система «РЕСУРС-К» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://resource-k.ru/index.php/o-sisteme-resurs-k>
7. Пономарьов О. С. Професіоналізм і відповідальність як чинники адаптивного управління в педагогіці / О. С. Пономарьов, М. К. Чеботарьов // Теорія і практика управління соціальними системами: філософія, психологія, педагогіка, соціологія. – 2014. – № 4. – С. 69–78.
8. Протасов А.Н. Управление формированием профессиональной компетентности будущих офицеров : дисс. ... канд. пед. наук : 13.00.08 / А.Н. Протасов. – Саратов, 2007. – 156 с.
9. Петрук В.А. Теоретико-методичні засади формування базових професійних компетенцій у майбутніх фахівців технічних спеціальностей : дис. ... доктора пед. наук : спец. 13.00.04 – теорія та методика професійної освіти / Національний педагогічний університет ім. М.П. Драгоманова. – К., 2008. – С. 520.
10. Резник С.Д. О повышении роли и механизмах подготовки научно-педагогических кадров в высшем учебном заведении / С.Д. Резник, Е.С. Джевицкая // Гуманитарные научные исследования. – 2014. – № 12-1 (40). – С. 125–135.
11. Рыжова Н. Е. Центр оценки шаг за шагом. Навигатор по разработке и проведению / Н. Е. Рыжова, Ю. А. Михеев / под ред. Н. Е. Рыжовой. – 1-е изд. – СПб : ГК «Институт Тренинга – АРБ Про», 2015. – 218 с.
12. Система оценки персонала методом обратной связи HR.360° [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://hr360.pro/ru/>
13. Система управления людьми Extended DISC [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.treko.ru/show_article_835
14. Юдкова К. В. Особенности назначения понятия "информационные технологии" / К. В. Юдкова // Информация и право : наук. журн. – 2015. – № 1. – С. 63–67.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СТРУКТУРА И ПОТОКИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССАМИ ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА

В статье проведен анализ процесса технического творчества с точки зрения основных положений теории информации и различных природ информационных потоков процесса технического творчества. На основании ранее разработанных систем управления процесса технического творчества, построена структурная схема формирования, преобразования и передачи информации в системе управления процессом технического творчества. Показана связь этой системы со структурными схемами информационных систем иной физической природы.

Ключевые слова: техническое творчество, природа творчества, кибернетика, система управление, информация, информационные потоки, внешняя среда, источники информации, связи, структурная схема.

U. SMOLIN

Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy

INFORMATION STRUCTURE AND FLOW OF THE MANAGEMENT AND CONTROL SYSTEMS, PROCESSES AND TECHNICAL CREATIVITY

The article analyzes the process of technological creativity from the point of view in terms of the basic tenets of the theory of information and information flows of different natures of the technical work. Based on previously developed systems, process control engineering work, built a block diagram of the formation, transformation and transmission of information in the system of managing technical creation. The relationship of this system with the structural schemes of information systems of another physical nature.

Keywords: technical work, the nature of creativity, cybernetics, systems management, information, information flows, the external environment, sources of information, communication, block diagram.

Постановка проблемы. Решая одну из главных задач современной науки о творчестве – создание возможности управления творчеством, особенно когда речь идет о техническом и научно-техническом творчестве, – исследователи этой проблемы не могут обойтись без информации в любом толковании этого понятия и любом его приложении. Обычно под информацией в широком смысле понимают новые сведения об окружающем мире, которые должны быть использованы в процессе создания и оценки объекта творческой деятельности.

В системах управления и контроля процессом технического творчества, как и в системах любых других природ, можно выделить информационную систему, которая собственно и определяет поведение всей системы управления. Поэтому очень важно знать структуру этой системы и ее связи, что позволит определить взаимосвязь информационных потоков с конечным результатом творческой деятельности.

Именно с позиций теории информации, но с обязательным учетом особенностей механизмов творческой деятельности, и представляется один из наиболее рациональных подходов к решению важнейших задач – управление процессом технического творчества и контроля этого процесса.

Одним из промежуточных этапов решения этой задачи и является анализ и обоснование структуры и связей информационной подсистемы в системах управления процесса творчества.

Постановка задачи. На основании анализа информационных потоков процесса творческой деятельности процесса технического творчества, анализа их природ и основных положений теории информации обосновать структуру подсистемы информации и ее связи в составе системы управления и контроля процесса технического творчества.

Изложение основного материала. Информация несет в себе широкое понятие и используется для объяснения сущности самых разнообразных явлений и процессов.

Информационные процессы (сбор, ввод, накопление, хранение, обработка и передача информации) всегда играли важнейшую роль в науке, технике, обучении и пр. Механизмы творческой деятельности так же не составляют исключение. Без наличия информационных процессов не может существовать ни одна из природ творчества вообще, и технического творчества в частности.

С учетом основных законов кибернетики, автором в работе [1] обоснованы и предложены структурные схемы управления «рабочей» и «интеллектуальной» систем процесса технического творчества, отражающие его двойственную природу и которые являются подсистемами по отношению к единой и целостной системе процесса технического творчества.

В литературе, посвященной научно-техническому творчеству, достаточно широко используется выделение подсистем, систем и надсистем различного вида [2, 3]. Поэтому каждую из приведенных систем управления можно рассматривать как подсистему общей и целостной системы процесса технического творчества.

Управление подсистемами («рабочей» и «интеллектуальной» подсистем) процесса технического творчества основывается на информации об управляющих сигналах и информационных сигналах цепи обратной связи. Кроме того, на вход этих подсистем должны поступать информационные сигналы и из

внешней среды. Следовательно, на основании целевого назначения можно выделить группу функциональных элементов и связей, которые образуют информационную систему творческого процесса, и которая по отношению к целостному и неразрывному образованию, представляющему собой творческий процесс, будет являться подсистемой. Так же, информационную систему можно рассматривать на тех же основаниях и как подсистему системы управления процессом технического творчества.

Следовательно, обобщенную структурную схему формирования, обработки и передачи информации в системах управления и контроля, можно представить в виде, представленном на рисунке 1.

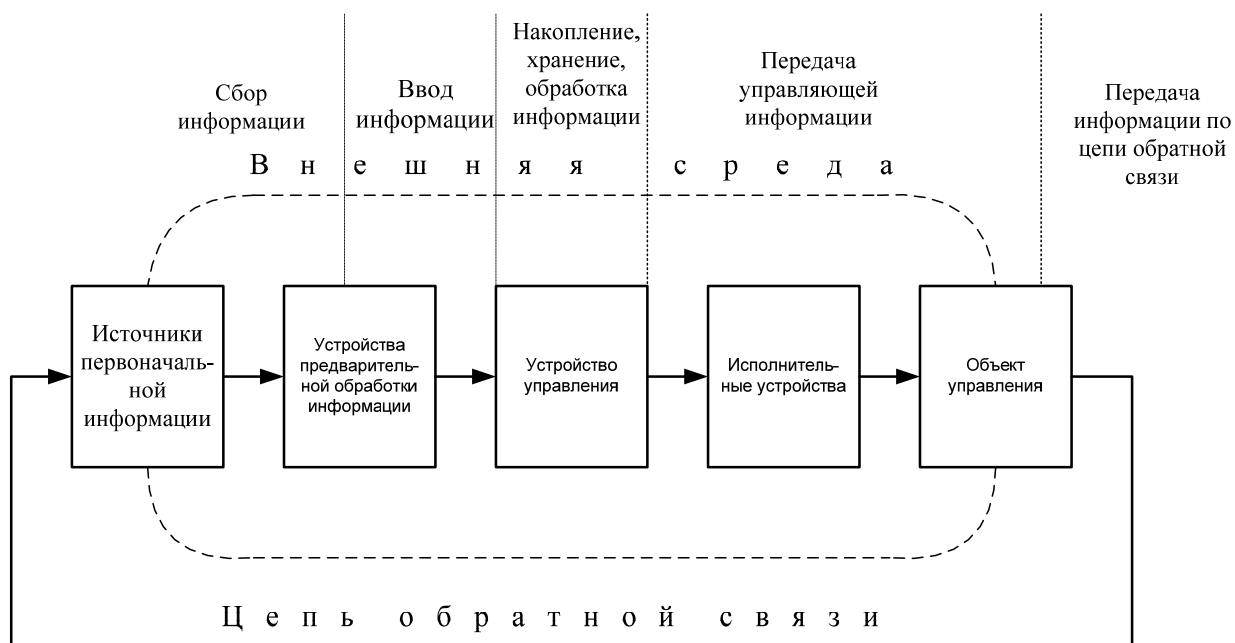


Рис. 1. Обобщенная структурная схема формирования, обработки и передачи информации в системах управления

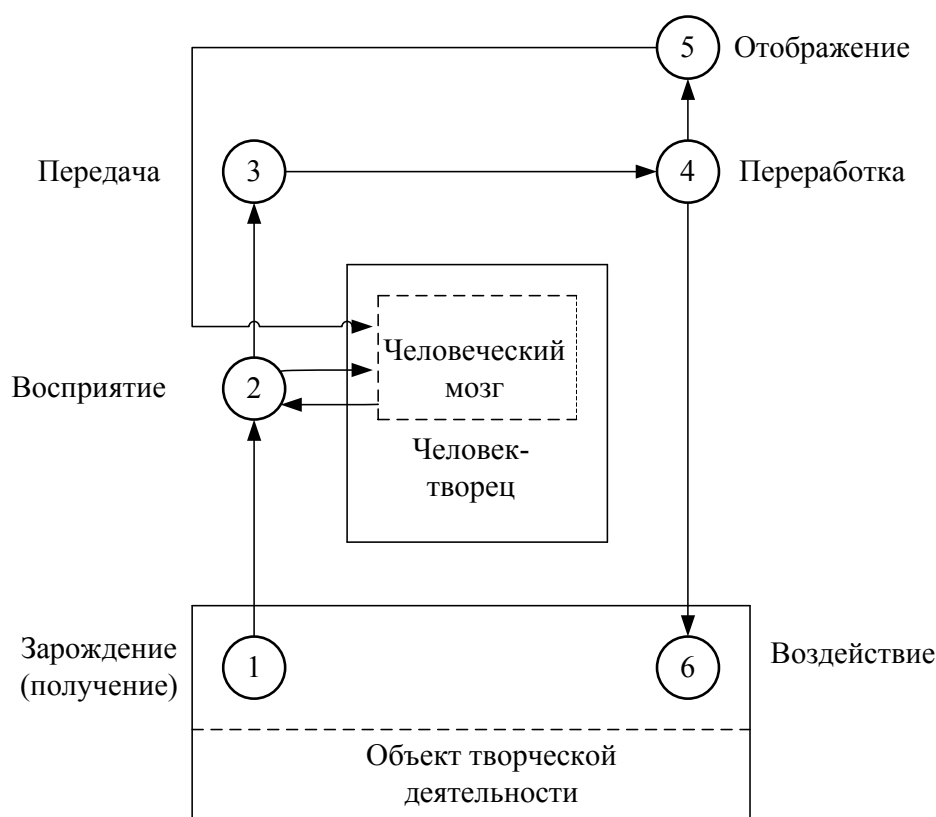


Рис. 2. Схема прохождения информации и фазы ее обращения в процессе технического творчества

Эта схема отражает процессы любой природы (производственные, социальные, биологические и др.), связанные с получением (сбором), передачей, преобразованием (обработкой), накоплением, хранением и отображением информации, а так же связи этой системы. К основным функциональным блокам,

реализующим эти процессы, относятся: источники первоначальной информации; устройства предварительной обработки информации; устройство управления; исполнительные устройства; объект управления.

В полном соответствии с обобщенной структурной схемой можно реализовать схемы любой физической природы.

Для правильного понимания организации информационной системы в процессе технического творчества рассмотрим классические фазы обращения информации [4], применительно к объекту творческой деятельности. Для того чтобы несколько упростить задачу и не запутаться в рамках данной статьи в вопросах значимости взаимовлияния информации получаемой от объекта творческой деятельности по цепи обратной связи и непосредственно из внешней среды независимо от объекта творческой деятельности, будем считать, что и источником, и потребителем информации является только объект творческой деятельности. Тогда схему прохождения информации и ее фазы обращения, интерпретированные к процессу технического творчества, осуществляемому человеком-творцом, можно изобразить в виде, показанном на рисунке 2.

В такой схеме информация проходит следующие фазы обращения [4]:

1) Получение информации происходит в процессе частичного или полного снятия неопределенности состояния или положения объекта в пространстве и времени, его отличительных признаков, т.е. в процессе познания.

2) В фазе восприятия формируется образ объекта, его опознание и оценка. При этом отделяется полученная информация от общего фона (шумов). В результате восприятия получается сигнал в форме, удобной для передачи и обработки.

3) В фазе передачи информация передается на расстояние посредством сигналов различной физической природы по соответствующим каналам.

4) Переработка информации осуществляется мозгом человека, который оценивает ситуацию, принимает решения в процессе контроля и управления. Промежуточным этапом переработки есть запоминание информации.

5) Фаза отображения информации состоит в отображении в специальных областях мозга, которые воздействуют на органы чувств человека, качественных и количественных характеристик выходной информации.

6) Воздействие состоит в том, что под воздействием сигналов, передающих информацию, производятся управляющие действия, изменяющие состояние или положение объекта.

Рассмотренные общие закономерности функционирования информационных систем различной природы, общность их структур и связей, позволяют по тем же принципам построить и структурную схему формирования, преобразования и передачи информации в системе управления творческим процессом с учетом его двойной природы. Такая схема приведена на рисунке 3.

Поскольку решение задач управления предусматривает обмен информацией между всеми элементами и подсистемами системы управления творческим процессом, и представляет собой целостный неразрывный процесс, то в данном случае необходимо неразрывно рассматривать «рабочую» и «интеллектуальную» подсистемы управления и их информационные потоки, но, естественно, с учетом их различной природы.

Так, для «рабочей» управляющей системы, исходя из ее определения данного в работе [1], для процесса технического творчества характерны общность действий и цели по созданию объекта творческой деятельности, обладающего определенными и предсказуемыми характеристиками и свойствами. В такой системе необходимо точно представлять технологический процесс, требуемое оборудование, необходимые исходные материалы и многое другое.

В этом случае сбор информации, обеспечивающей управление творческим процессом, происходит от источников информации, которыми являются знание, навыки, опыт и других источников сведений, не связанных с ощущениями.

Для «интеллектуальной» системы управления характерно протекание вероятностного творческого процесса, в результате которого при достижении той же цели, общей для «рабочей» и «интеллектуальной» подсистем, получают продукты с элементами новизны свойств либо качеств [1].

Здесь необходимо сделать уточнение. Когда речь идет о понятиях новизны свойств или качеств, зачастую, в литературе посвященной вопросам научно-технического творчества эти термины «свойство» и «качество» употребляются как синонимы. В данном случае их следует понимать в прямом их смысловом значении: свойство – это признак составляющий отличительную особенность чего-нибудь, а качество – это признак, характеризующий степень чего-то, либо кого-то.

В «интеллектуальной» системе управления сбор информации обеспечивается за счет таких источников как воображение, гармония, критическое восприятие и других информационных восприятий, которые обеспечивают новизну самой информации.

Здесь следует отметить, что автор в данной работе не преследует цель четкой классификации понятий «знание», «умение», «воображение», «понимание» и прочих, таких как «талант», «интуиция» и др., применительно к исследованию их механизма. Задачей автора является показать наличие входных информационных потоков различной природы и их взаимосвязи.

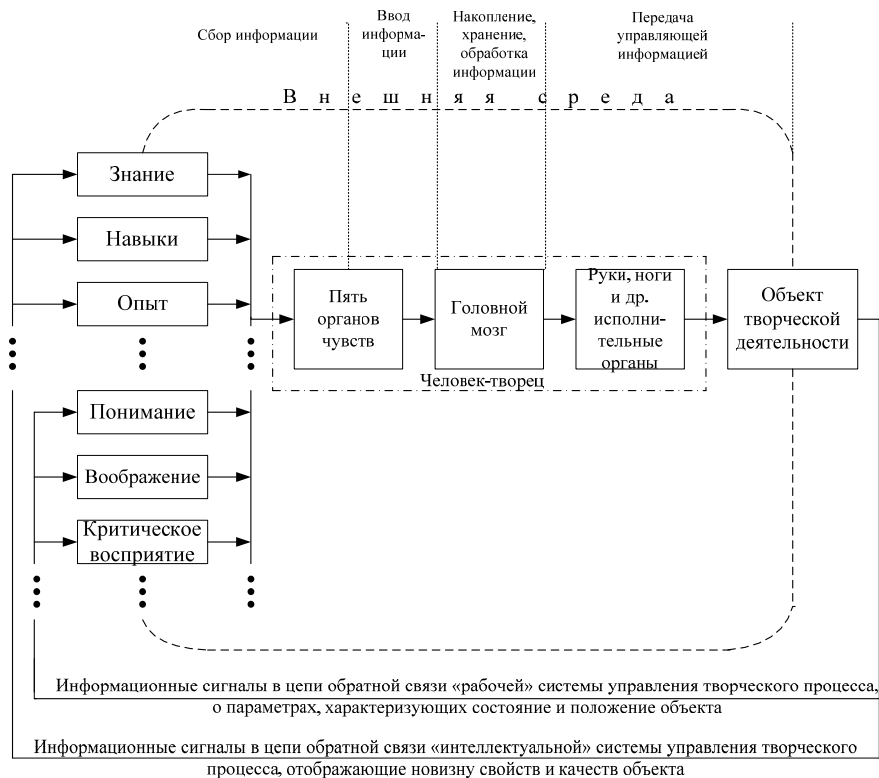


Рис. 3. Структурная схема формирования, преобразования и передачи информации в системе управления процессом технического творчества

На этой же структурной схеме формирования и передачи информации человек-творец представлен в виде трех подсистем, реализующих различные фазы обращения информационного процесса и их связи. Ввод информации осуществляется подсистемой органов чувств. Накопление, хранение и обработку информации производит подсистема головного мозга. Передача управляющей информации происходит при помощи подсистемы исполнительных органов человека. И, наконец, по цепи обратной связи от объекта творческой деятельности на вход источников первоначальной информации поступают информационные сигналы различной природы: от «рабочей» подсистемы управления – сигналы о параметрах, характеризующих состояние и положение объекта творческой деятельности, в процессе достижения заданной цели; от «интеллектуальной» подсистемы – сигналы обусловленные отображениями новизны свойств или качеств объекта творческой деятельности в процессе реализации поставленной цели.

Предлагаемая структурная схема формирования, преобразования и передачи информации в системе управления процессом технического творчества, приведенная на рисунке 3, построена, во-первых, с учетом основных положений теории информации, во-вторых, с учетом различных природ механизмов технического творчества.

Выводы. Такой подход позволяет применить к информационным системам технического, инженерного и научно-технического творчества общие законы развития систем, воздействия на них внешней среды, применять общие критерии оценки параметров информационных систем в процессе управления и их контроля.

Перспективой дальнейших исследований является возможность применения к исследованию механизмов технического творчества методов, математического аппарата, критериев и параметров, широко используемых в информационных системах иной физической природы.

Литература

1. Смолин Ю.А. Анализ основных структурных составляющих и их связей в управлении процессом технического творчества инженерно-педагогического направления / Ю.А. Смолин, Н.Ю. Смолина // Проблеми інж.-пед. освіти : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Х., 2012. – Вип. 34-35. – С. 326–334.
2. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества : учеб. пособие для студентов вузов / А.И. Половинкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
3. Головинский О.И. Основы автоматики / О.И. Головинский. – М. : Высш. шк., 1987. – 207 с.
4. Кузьмин И.В. Основы теории информации кодирования / И.В.Кузьмин, В.А. Кедрус. – К. : Вища шк., 1986. – 238 с.

УДК: 355.58(075)

В.В. БОРИК, Л.Й. МЕЖИЛОВСЬКА, Р.О. ДЗУМЕДЗЕЙ

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

Г.Д. МАТЕЙК

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ВИЗНАЧЕННЯ ВИСОТИ І ШВИДКОСТІ ХВИЛІ ПРОРИВУ ПІД ЧАС ГІДРОДИНАМІЧНИХ АВАРІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ СЕРЕДОВИЩА VBA В ЦИВІЛЬНОМУ ЗАХИСТІ

Створена програма мовою VBA для демонстрації можливості автоматизації розрахунку висоти h і швидкості хвилі прориву V під час гідродинамічних аварій. На даному прикладі продемонстровані методологічні шляхи щодо оптимізації і автоматизації заходів і засобів, спрямованих на попередження і локалізацію надзвичайних ситуацій техногенного характеру, а також шляхи зменшення ймовірності помилок в даних розрахунках, спричинених людським фактором.

Ключові слова: гідродинамічні аварії, хвиля прориву, параметри, розрахунки, об'єктно-орієнтоване програмування.

V.V. BORYK, L.YO. MEZHYLOVSKA, R.O. DZUMEDZEY

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University

G.D. MATEIK

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

THE DETERMINATION OF HEIGHT AND SPEED OF THE BLAST WAVE DURING HYDRODYNAMIC BREAKDOWNS WITH THE USAGE OF VBA ENVIRONMENT IN CIVIL DEFENSE

The program in VBA language has been created for the demonstration of the possible automation of the calculation of height (h) and speed of the break wave (V) during hydrodynamic breakdowns. By way of single example there have been demonstrated methodological ways of optimization and automation of measures and means, aimed at the prevention and localization of emergencies of technological nature, as well as the ways to decrease the error probability during these calculations, caused by the human factor.

Keywords: hydrodynamic accident, the break wave, parameters, calculations, object-oriented programming.

Вступ

Зростання антропогенного впливу, зокрема будівництво нових і експлуатація наявних штучних водосховищ, які використовують в гідроенергетиці, зрошувальному рослинництві, регулюванні стоку для захисту від катастрофічних повеней викликаних інтенсивними надмірними опадами чи швидкому таненні значних снігових мас, вимагає додаткових зусиль щодо захисту від небезпек пов'язаних з можливими аваріями спричиненими руйнуванням даних гідротехнічних споруд [1–3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В наявних публікаціях подано виключно загальний підхід для вказаних розрахунків, а саме, формули для обчислень і підстановочні до них табличні дані, які вибирають згідно визначених параметрів.

Мета і завдання досліджень

Створити програмний продукт для забезпечення автоматизації визначення значень висоти і швидкості хвилі прориву при гідродинамічних аваріях викликаних проривом дамб чи гребель.

Методика визначення висоти і швидкості хвилі прориву з використанням VBA

В результаті великих гідродинамічних аварій припиняється подача електроенергії в енергетичні системи, функціонування іригаційних та інших водогосподарських систем, а також об'єктів ставкового рибного господарства, руйнуються чи опиняються під водою населені пункти і промислові підприємства, виводяться з ладу комунікації й інші елементи інфраструктури, гинуть посіви і худоба, виводяться з господарського обігу сільськогосподарські угіддя, порушується життєдіяльність населення і виробничо-економічна діяльність підприємств, втрачаються матеріальні, культурні та історичні цінності, наносяться великі збитки природному середовищу, в тому числі в результаті змін ландшафту, гинуть люди.

Вторинними наслідками гідродинамічних аварій є забруднення води і місцевості речовинами зі зруйнованих (затоплених) сховищ, промислових і сільськогосподарських підприємств, масові захворювання людей і сільськогосподарських тварин, аварії на транспортних магістралях, зсуви й обвали.

Довгострокові наслідки гідродинамічних аварій пов'язані із залишковими факторами затоплення – наносами, забрудненнями, зміною елементів природного середовища.

Основними показниками наслідків затоплення є:

- чисельність населення, яке опинилося в зоні затоплення;
- число загиблих, поранених, людей, які залишилися без домівок;
- кількість населених пунктів, що потрапили в зону затоплення (міста, селища, сільські населені пункти – затоплені цілком, частково, які потрапили в зону підтоплення тощо);
- кількість житлових будинків і будинків соціально-культурного призначення, пам'ятників історії та культури;
- кількість об'єктів народного господарства, довжина залізничних і автомобільних шляхів, лінії електропередач, зв'язку, інші комунікаційні елементи, що опинилися в зоні затоплення;
- площа затоплення сільськогосподарських угідь;
- кількість загиблих сільськогосподарських тварин.

В цілому наслідки характеризуються величиною збитків, які наносяться народному господарству і населенню.

Прямі збитки, обумовлені руйнуваннями й іншими безпосередніми втратами в результаті гідродинамічних аварій, і непрямі збитки, пов'язані з порушенням нормальної господарської діяльності, становлять 70 % і 30 % від загальних збитків відповідно.

З метою завчасного планування проведення рятувальних та інших невідкладних робіт в зонах катастрофічного затоплення внаслідок можливого прориву гребель (штучних і природних) виконується завчасне прогнозування можливих хвиль прориву та розмірів катастрофічного затоплення.

Вихідними даними для проведення необхідних розрахунків є:

- відстань створу, який розглядається, від греблі (L , км);
- очікуваний розмір прориву ($B = 1; 0,5; 0,25$);
- схил водної поверхні (i);
- висота ділянки (h_M , м);
- максимальна висота затоплення ділянки місцевості по створу (h_3 , м);
- висота прямокутника, еквівалентного по площі змоченому периметру в створі при максимальній глибині затоплення (h_{cp} , м);
- висота греблі (H , м).

Розрахунки максимальної висоти хвилі прориву, максимальної швидкості потоку, середньої швидкості потоку води в точці створу та тривалості затоплення території здійснюється за допомогою формул і таблиць.

В результаті розрахунку повинні визначатися: максимальна висота хвилі прориву (h); максимальна швидкість потоку (V); середня швидкість потоку води у створі, який розглядається (V_{cp}).

Послідовність розрахунку:

1. Визначення висоти і швидкості хвилі прориву:

$$h = A_1 / \sqrt{B_1 + L}, \text{ м}; \quad (1)$$

$$V = A_2 / \sqrt{B_2 + L}, \text{ м/с} \quad (2)$$

де A_1 , A_2 , B_1 , B_2 – коефіцієнти апроксимації, які залежать від висоти греблі (H) – гідравлічного схилу водної поверхні (i) і розмірів очікуваного прориву (B); значення коефіцієнтів наведені у таблиці.

Таблиця 1

Коефіцієнти апроксимації

B	H , м	Значення коефіцієнтів при схилах											
		$i = 1 \cdot 10^{-4}$				$i = 5 \cdot 10^{-4}$				$i = 1 \cdot 10^{-3}$			
		A_1	B_1	A_2	B_2	A_1	B_1	A_2	B_2	A_1	B_1	A_2	B_2
1	20	100	90	9	7	70	50	13	10	40	18	16	21
	40	280	150	20	9	180	76	34	12	110	30	32	24
	80	720	286	39	12	480	140	52	16	300	60	62	29
	150	1880	500	79	15	1240	234	100	21	780	106	116	34
	250	4000	830	144	19	2600	370	174	25	1680	168	208	40
0,5	20	138	204	11	11	92	104	13	23	56	51	18	38
	40	340	332	19	14	224	167	23	25	124	89	32	44
	80	844	588	34	17	544	293	43	31	320	166	61	52
	150	2140	1036	62	23	1280	514	79	38	940	299	113	62
	250	4520	1976	100	28	2600	830	130	46	180	490	187	79
0,25	20	140	192	8	21	60	100	11	33	40	38	15	43
	40	220	388	13	21	192	176	21	36	108	74	30	50
	80	280	780	23	21	560	320	41	41	316	146	61	65
	150	2420	1456	41	20	1393	572	77	51	840	172	114	89
	250	4740	2420	67	16	2800	932	126	62	1688	452	191	116

Очікувані параметри, які характеризують зону затоплення, залежать не тільки від розмірів водосховища, величини напору та інших характеристик гідровузла, але, більшою мірою, визначаються геодезичними і топографічними особливостями території.

Для оцінки можливих наслідків прориву гребель можна скористатися атласами, які розроблені проектними інститутами відповідних відомств Міненерговугілля, Держводагентства України, що мають необхідні розрахунки та схеми можливого катастрофічного затоплення з урахуванням технічних характеристик гідровузлів і топографічних особливостей території.

Для забезпечення швидкості і автоматизації обчислень при оперативному визначенні висоти (h), швидкості хвилі прориву (V) запропоновано використати Visual Basic Application для MS Office (Excel).

Порядок створення VBA script.

Створюємо Userform, заповнюючи її об'єктами ComboBox, Label, TextBox CommandButton та програмуємо для цих об'єктів необхідні процедури.

Параметрами для визначення висоти h і швидкості хвилі прориву V є множиною дискретних значень, а саме: очікуваний розмір прориву (B) (1, 0,5, 0,25); схил водної поверхні (i) (10^{-4} , $5 \cdot 10^{-4}$, 10^{-3}); висота греблі (H) (20, 40, 80, 150, 250 м); відстань створу, який розглядається, від греблі (L) (5, 10, 20, 40, 80, 150 км).

Прописуємо коди процедур для об'єктів TextBox, що здійснюють вибірку значень коефіцієнтів апроксимацій A_1 , A_2 , B_1 , B_2 згідно таблиці і формул (1, 2) для визначень висоти (h), швидкості хвилі прориву (V) залежно від вище наведених змінних параметрів. Для цього застосовуємо вкладену багаторазову процедуру Case...Select.

Приклад конкретного використання. Вихідні параметри: відбувся прорив греблі висотою $H = 20$ м, очікуваний розмір прориву $B = 1$, схил водної поверхні $i = 10^{-4}$, відстань створу, який розглядається, від греблі $L = 20$ км. Загальний вигляд Форми користувача VBA для вище наведеного прикладу надано на рис. 1. Вибір параметрів здійснюється з випадючих списків ComboBox(ив), які в свою чергу використовуються по черговості зверху вниз у Формі користувача. Слід зауважити, що у випадку повторної зміни вибору параметра у вище розміщених у Формі користувача ComboBox(ах) значення у наступних автоматично очищуються вимагаючи повторного вибору для коректного заповнення табличними значеннями відповідних TextBox(ив). Після вибору відповідних параметрів ComboBox(ив) поля TextBox(ив) заповнюються відповідними табличними значеннями для коефіцієнтів апроксимацій $A_1 = 100$, $A_2 = 9$, $B_1 = 90$, $B_2 = 7$. Отже, в підсумку програмне забезпечення дає змогу миттєво розрахувати згідно формул (1, 2) висоту h і швидкість хвилі прориву V , які будуть становити 9,53 м і 1,73 м/с відповідно.

Рис. 1. Загальний вигляд Форми користувача VBA (Скрін на одному з етапів розрахунків)

Висновки

1. Оптимізація управління силами цивільного захисту при прогнозуванні, локалізації і ліквідації наслідків гідродинамічних аварій.
2. Демонстрація застосування інформаційних технологій в автоматизації розрахунків параметрів вражаючих факторів при надзвичайних ситуаціях техногенного і природного характеру.

Література

1. Стеблюк М.І. Цивільна оборона та цивільний захист : підручник / М.І. Стеблюк. – К., 2007. – 487 с.
2. Цивільний захист : навчальний посібник / [В.І. Кошель, Г.Ю. Юрах, Р.С. Грушевський, В.В. Борик]. – Івано-Франківськ : НАІР, 2014. – 208 с.
3. Шоботов В.М. Цивільна оборона : навчальний посібник. / В.М. Шоботов – К., 2006. – 438 с.

Рецензія/Peer review : 26.7.2016 р.

Надрукована/Printed : 26.8.2016 р.

Рецензент: д.ф.-м.н. Яремій І. П.

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ НАВАНТАЖЕННЯ В ІМПУЛЬСНОМУ РЕЖИМІ ВІД ДЖЕРЕЛА ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ

В статті проаналізовано режими роботи резистивного навантаження під час постійного та періодичного підключення до джерела постійної напруги. Отримано вирази для розрахунку енергії, що виділяється в резистивному навантаженні в ході періодичного підключення до джерела постійної напруги. Обґрунтовано збільшення енергії, яка виділяється в резистивному навантаженні при періодичному підключенні до джерела постійної напруги для узгодженого та неузгодженого режиму роботи.

Ключові слова: джерело ЕРС, резистивне навантаження, процес заряду конденсатора, енергія.

V. D. KOSENKOV, V. V. MARTYNYUK

Khmelnytsky National University

OPERATION FEATURES OF THE LOAD IN THE IMPULSE MODE AT THE CONSTANT VOLTAGE SOURCE

The operation modes of the resistive load at the constant and periodic connection to the constant voltage source have been analyzed in the article. The expressions have been obtained for calculation of the energy which is generated in the resistive load at the periodic connection to the constant voltage source. The energy increase has been well grounded which is generated in the resistive load at the periodic connection to the constant voltage source for the coordinated and non-coordinated operation modes.

Key words: EMF source, resistive load, process of the capacitor charging.

Вступ. Однією з ключових проблем сучасної електроенергетики є забезпечення високого рівня енергоефективності, тобто таких умов функціонування джерела електричної енергії та навантаження, за яких вся електрична енергія, що надходить від джерела електричної енергії до навантаження буде використана з максимальною користю. Важливим аспектом підвищення енергоефективності джерел постійної напруги є зменшення втрат електричної енергії на внутрішньому опорі джерела при під'єднанні до нього активного навантаження.

Джерела постійної напруги використовуються в якості елементів живлення для у багатьох пристроях. Прикладами джерел постійної напруги є хімічні джерела струму, свинцево-кислотні батареї, літій-іонні батареї, сонячні батареї, паливні елементи і інші джерела постійної ЕРС. Більшість систем накопичення електроенергії є джерелами постійної напруги, тому втрати частини енергії на внутрішньому опорі таких джерел призводять до необхідності збільшення їх габаритів та ємності таких, а також відбору надлишкового тепла, яка виділяється на внутрішньому опорі і призводить до перегріву батареї. Звідси випливає, що забезпечення передачі максимальної частини енергії від джерела постійної напруги до навантаження є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо [1, 2], що джерела постійної напруги характеризуються високим внутрішнім опором R_0 . Розглянемо схему під'єднання активного навантаження R_H до джерела постійної напруги E із внутрішнім опором R_0 та залежність напруги від часу $U_H = f(t)$ на активного навантаження R_H , які зображені на рис. 1 відповідно а і б.



а) схема під'єднання активного навантаження R_H до джерела постійної напруги E ;

б) залежність від часу напруги $U_H = f(t)$ на активному навантаженні R_H

Рис. 1. Особливості роботи джерела постійної напруги із активним навантаженням

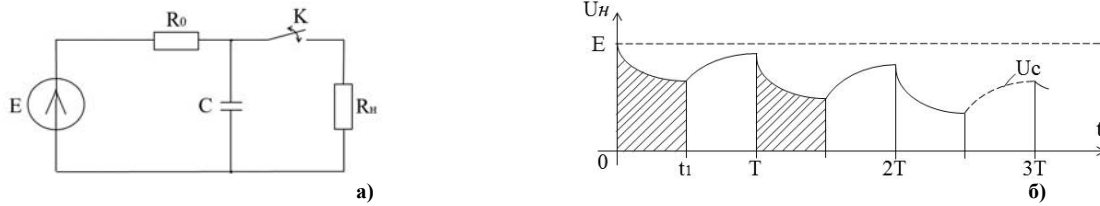
Аналізуючи рис. 1 можна зробити висновок, що напруга на навантаженні завжди менша за напругу джерела постійної напруги, тому максимальна енергія $W_{H \max}$, яка виділяється на активному опорі навантаження R_H , не може перевищує половини від загальної відібраної від джерела енергії. Звідси випливає, що половина або більше енергії джерела постійної напруги витрачається на його нагрівання.

Режим передачі максимальної енергії від джерела постійної напруги до навантаження називають узгодженим режимом роботи, тому що він досягається при рівних значеннях внутрішнього опору джерела постійної напруги та навантаження $R_0 = R_H$ [1, 2]. Для узгодженого режиму роботи коефіцієнт корисної дії джерела постійної напруги дорівнює:

$$\eta = \frac{W_{H \max}}{W_{\text{заг}}} = 0,5 . \quad (1)$$

ІМПУЛЬСНИЙ РЕЖИМ РОБОТИ ДЖЕРЕЛА ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ

Проаналізуємо імпульсний режим роботи джерела постійної напруги при під'єднанні до нього конденсатора та опору навантаження за допомогою ключа К із певним періодом комутації T , як показано на схемі рис. 2, а.



а) схема під'єднання активного навантаження R_H до джерела постійної напруги E із та конденсатором C ;

б) залежність від часу напруги $U_H = f(t)$ на активному навантаженні R_H та конденсаторі C

Рис. 2. Імпульсний режим роботи джерела постійної напруги із конденсатором та опором навантаження

Розглянемо узгоджений режим, коли $R_H = R_0$. У першому циклі ключ К замикається при $u_c(0) = E$:

$$u_H = u_c = \frac{E}{2} + A \cdot e^{-t/\tau_1} = \frac{E}{2} + \frac{E}{2} e^{-t/\tau_1}, \quad (2)$$

де $\tau_1 = \frac{R_0 C}{2}$.

В кінці імпульсу $t = t_1$, а отже $u_c = \frac{E}{2} + \frac{E}{2} e^{-t_1/\tau_1}$.

При розмиканні ключа К відбувається процес заряду конденсатора:

$$u_c = E + A \cdot e^{-t/\tau_2}, \quad (3)$$

де $\tau_2 = R_0 C$.

При $t = 0$ можна визначити постійну інтегрування A із рівняння $\frac{E}{2} + \frac{E}{2} e^{-t_1/\tau_1} = E + A$ за виразом:

$$A = -\frac{E}{2} + \frac{E}{2} e^{-t_1/\tau_1}. \quad (4)$$

В кінці циклу $t_2 = T - t_1$ напруга на конденсаторі дорівнює $u_c = E + \left(-\frac{E}{2} + \frac{E}{2} e^{-t_1/\tau_1}\right) e^{-t_2/\tau_2}$. Цей вираз є початковою умовою для наступного циклу, коли ключ К замикається і напруга $u_c = \frac{E}{2} + A e^{-t/\tau}$.

При $t_2 = T - t_1$ постійна процесу розряду $A = \frac{E}{2} + \left(-\frac{E}{2} + \frac{E}{2} e^{-t_1/\tau_1}\right) e^{-t_2/\tau_2}$ і напруга на конденсаторі при розряді визначається виразом:

$$u_c = \frac{E}{2} + \left[\frac{E}{2} + \left(-\frac{E}{2} + \frac{E}{2} e^{-t_1/\tau_1}\right) e^{-t_2/\tau_2} \right] e^{-t/\tau_1} \quad (5)$$

Початкова умова для процесу заряду визначається виразом:

$$u_{c|t=t_1} = \frac{E}{2} + \left[\frac{E}{2} + \left(-\frac{E}{2} + \frac{E}{2} e^{-t_1/\tau_1}\right) e^{-t_2/\tau_2} \right] e^{-t_1/\tau_1}. \quad (6)$$

Тоді постійна нового процесу заряду $A = -\frac{E}{2} + \left[\frac{E}{2} + \left(-\frac{E}{2} + \frac{E}{2} e^{-t_1/\tau_1}\right) e^{-t_2/\tau_2} \right] e^{-t_1/\tau_1}$, а напруга на конденсаторі в кінці заряду дорівнює:

$$u_{c|t=t_1} = E + A e^{-t_2/\tau_2} = E + \left\{ -\frac{E}{2} + \left[\frac{E}{2} + \left(-\frac{E}{2} + \frac{E}{2} e^{-t_1/\tau_1}\right) e^{-t_2/\tau_2} \right] e^{-t_1/\tau_1} \right\} e^{-t_2/\tau_2}. \quad (7)$$

Для нового циклу розряду постійна $A = \frac{E}{2} + \left\{ -\frac{E}{2} + \left[\frac{E}{2} + \left(-\frac{E}{2} + \frac{E}{2} e^{-t_1/\tau_1}\right) e^{-t_2/\tau_2} \right] e^{-t_1/\tau_1} \right\} e^{-t_2/\tau_2}$.

Цього достатньо, щоб встановити загальні закономірності зміни $u_H = u_c$ в кожному циклі прийемо для спрощення $t_1 = t_2 = T/2$ і врахуємо, що $\tau_2 = 2\tau_1$.

В загальній формулі напруги $u_{H(k)} = u_{C(k)} = \frac{E}{2} + A_k e^{-t/\tau_1}$ постійні будуть:

$$A_1 = \frac{E}{2}; A_2 = \frac{E}{2} - \frac{E}{2} e^{-T/4\tau_1} + \frac{E}{2} e^{-3T/4\tau_1}; A_3 = \frac{E}{2} - \frac{E}{2} e^{-T/4\tau_1} + \frac{E}{2} e^{-3T/4\tau_1} - \frac{E}{2} e^{-5T/4\tau_1} + \frac{E}{2} e^{-7T/4\tau_1};$$

$$A_4 = \frac{E}{2} - \frac{E}{2} e^{-T/4\tau_1} + \frac{E}{2} e^{-3T/4\tau_1} - \frac{E}{2} e^{-5T/4\tau_1} + \frac{E}{2} e^{-7T/4\tau_1} - \frac{E}{2} e^{-9T/4\tau_1} + \frac{E}{2} e^{-11T/4\tau_1}. \quad (8)$$

Бачимо, що, за виключенням A_1 , всі постійні містять експоненти з непарними степенями, причому, кожна наступна постійна відрізняється від попередньої двома експонентами, перед першою з них стоїть знак мінус, а перед другою знак плюс. Кількість експонент визначається формулою $2(k-1)-1$. Степінь останньої експоненти для довільного A_k визначається числом $4(k-1)-1$.

Особливість схеми рис. 2, а є те, що до початку кожного нового циклу конденсатор не встигає за час $T-t_1$ зарядитися до початкового значення напруги в попередньому циклі, але через достатню кількість періодів (циклів) схема прийде до якогось сталого режиму. Якщо позначити $e^{-T/4\tau_1} = a$, то для A_k можна записати:

$$A_k = \frac{E}{2} \left(1 - a^1 + a^3 - a^5 + a^7 - a^9 + a^{11} - \dots + a^{4(k-1)-1} \right) = \frac{E}{2} C_k. \quad (9)$$

Важливо визначити, яким стане A_k після завершення перехідного процесу (процесів розряду-заряду) в сталому режимі. Тоді розглянемо два степеневих ряди:

$$-(a^1 + a^5 + a^9 + a^{13} + a^{17} + \dots). \quad (10)$$

$$+(a^3 + a^7 + a^{11} + a^{15} + a^{19} + \dots). \quad (11)$$

В геометричній прогресії (10) $b_1 = a^1$ і $q = a^4$, тоді сума членів ряду при $n \rightarrow \infty$ $S_1 = \frac{b_1}{1-q} = \frac{a^1}{1-a^4}$.

В геометричній прогресії (11) $b_1 = a^3$ і $q = a^4$, тоді сума членів ряду при $n \rightarrow \infty$ $S_2 = \frac{b_1}{1-q} = \frac{a^3}{1-a^4}$.

Отже:

$$A_{n=\infty} = \frac{E}{2} \left(1 - \frac{a^1}{1-a^4} + \frac{a^3}{1-a^4} \right). \quad (12)$$

Взявши у виразі для $a = e^{T/4\tau_1}$, в якості прикладу $T = \frac{\tau_1}{5}$; $T = \frac{\tau_1}{10}$; $T = \frac{\tau_1}{25}$, ми для всіх випадків отримали $A_{n=\infty} = \frac{E}{2} \cdot 0,5 = 0,25E$, тобто $C_n = 0,5$. Порівняємо енергії в навантаженні за один цикл ($\Delta t = T$) для двох схем. Для схеми без конденсатора:

$$W = \frac{1}{R_H} \left(\frac{E}{2} \right)^2 T = 0,25 \frac{E^2 T}{R_H}. \quad (13)$$

Для схеми з конденсатором, взявши $A_k = c_k \frac{E}{2}$, отримаємо $U_{CK} = \frac{E}{2} + c_k \frac{E}{2} e^{-t/\tau_1}$, а енергія дорівнює:

$$W_2 = \frac{1}{R_H} \int_0^{T/2} \left(\frac{E}{2} + c_k \frac{E}{2} e^{-t/\tau_1} \right)^2 dt = \frac{1}{R_H} \left[\frac{E^2 T}{4} + \frac{c_k E^2}{2} \tau_1 (1 - e^{-T/2\tau_1}) + \frac{c_k^2 E^2}{4} \tau_1 (1 - e^{-T/\tau_1}) \right]. \quad (14)$$

Виберемо $\tau_1 = 5T$, тоді енергія $W_2 = \frac{E^2 T}{8R_H} (1 + 2c_k + 0,9c_k^2)$, а враховуючи, що для сталого режиму

встановлено $c_k \approx 0,5$, тоді отримаємо вираз для розрахунку енергії $W_2 = 0,278 \frac{E^2 T}{8R_H}$. Збільшення енергії становить близько 11%. Зрозуміло, що в перехідному процесі енергія в схемі з конденсатором буде значно перевищувати W_1 . Так, в першому циклі $K=1$ і $W_{2(1)} = 0,48 \frac{E^2 T}{R_H}$, а другому циклі $K=0,91$ і $W_{2(2)} = 0,44 \frac{E^2 T}{R_H}$, тому за перших 5 циклів сумарна енергія перевищує W_1 в 1,66 разів. Якщо $R_H < R_0$, то в сталому режимі перевага другої схеми буде більша, а при $R_H > R_0$ результат може бути негативним тому, що збільшується

$U_H = \frac{R_H}{R_H + R_0}$ і менша різниця між $u_c(0)$ та U_H для кожного нового циклу. На енергію впливає наявність «паузи» напруги в навантаженні другої схеми.

Наприклад, при $R_H = 3R_0$ для першої схеми $U_H = \frac{3}{4}E$, а для другої схеми $\tau_1 = \frac{3}{4}R_0C$ та $\tau_2 = R_0C$.

Аналіз показує наступний результат, наприклад, для 6-го циклу при $t_1 = t_2 = T/2$:

$$A_6 = \frac{E}{4} \left(1 - e^{-3T/8\tau_1} + e^{-7T/8\tau_1} - e^{-10T/8\tau_1} + e^{-14T/8\tau_1} - e^{-17T/8\tau_1} + e^{-21T/8\tau_1} - e^{-24T/8\tau_1} + e^{-28T/8\tau_1} - e^{-31T/8\tau_1} + e^{-35T/8\tau_1} \right). \quad (15)$$

Отже для $A_{n \rightarrow \infty}$ можна записати:

$$A_{n \rightarrow \infty} = \frac{1}{4}E - \frac{1}{4}E \left(e^{-3T/8\tau_1} + e^{-10T/8\tau_1} + e^{-17T/8\tau_1} + \dots \right) + \frac{1}{4}E \left(e^{-7T/8\tau_1} + e^{-14T/8\tau_1} + e^{-21T/8\tau_1} + \dots \right) = \frac{1}{4}E - \frac{1}{4}ES_1 + \frac{1}{4}ES_2; \quad (16)$$

Якщо $a = e^{-T/8\tau_1}$, то при $\tau_1 = 5T$ та $a = e^{-1/40} = 0,9753$ матимемо:

$$A_n = \frac{1}{4}E - \frac{1}{4}E(a^3 + a^{10} + a^{17} + a^{24} + \dots) + \frac{1}{4}E(a^7 + a^{14} + a^{21} + a^{28} + \dots) = \frac{1}{4}E - \frac{1}{4}E \frac{a^3}{1-a^7} + \frac{1}{4}E \frac{a^7}{1-a^7} = 0,1125E \quad (17)$$

Тоді в сталому режимі для $0 \leq t \leq t_1$ напруга на навантаженні дорівнює $u_H = u_c = \frac{3}{4}E + 0,1125Ee^{-t/\tau_1}$. Порівняння енергії для двох схем за один цикл показує, що для другої схеми енергія в опорі навантаження буде в 1,53 разу менша, ніж для першої схеми.

При $R_H = 0,5R_0$ для схеми без конденсатора напруга $U_H = \frac{1}{3}E$, а енергія $W_1 = \frac{U_H^2}{R_H}T = \frac{1}{9} \frac{E^2T}{R_H}$.

Для схеми із конденсатором $U_{Cnp} = \frac{1}{3}E$, тоді формула u_c для розряду буде мати вигляд:

$$u_{c(n)} = \frac{1}{3}E + C_n \frac{2}{3}Ee^{-t/\tau_1}, \quad (18)$$

де $\tau_1 = \frac{R_0C}{3}$;

$$C_n = 1 - e^{-T/6\tau_1} + e^{-4T/6\tau_1} - e^{-5T/6\tau_1} + e^{-8T/6\tau_1} - e^{-9T/6\tau_1} + e^{-12T/6\tau_1} - \dots = 1 - (a^1 + a^5 + a^9 + a^{13} + \dots) + (a^4 + a^8 + a^{12} + a^{16} + \dots); \quad a = e^{-T/6\tau_1}.$$

Для нескінченної кількості циклів $C_{n \rightarrow \infty} = 1 - \frac{a^1}{1-a^4} + \frac{a^4}{1-a^4}$ та $T = 5\tau_1$, отримаємо $C_{n \rightarrow \infty} = 0,1763$.

Тоді енергія $W_2 = \frac{1}{R_H} \int_0^{T/2} \left(\frac{1}{3}E + C_n \frac{2}{3}Ee^{-t/\tau_1} \right)^2 dt = 0,136 \frac{E^2T}{R_H}$, а збільшення енергії становить $W_2 / W_1 = 1,22$ разу.

ВИСНОВКИ

1. Імпульсний режим роботи джерела постійної напруги із конденсатором є більш ефективним для передачі енергії в активний опір навантаження, але його доцільно застосовувати лише при $R_H \leq R_0$.

2. Максимальне збільшення енергії, яка виділяється на активному опорі навантаження (для $R_H = 0,5R_0$) при імпульсному режимі роботи джерела постійної напруги із конденсатором, становить $W_2 / W_1 = 1,22$ разу по відношенню до режиму роботи джерела постійної напруги із активним навантаженням без конденсатора.

Література

- Атабеков Г.И. Основы теории цепей / Атабеков Г.И. – М. : Энергия, 1969. – 427 с.
- Попов В.П. Основы теории цепей / Попов В.П. – М. : Высшая школа, 1985. – 496 с.

Рецензія/Peer review : 22.7.2016 р.

Надрукована/Printed : 26.8.2016 р.

Рецензент: д.т.н. Бойко Ю. М.

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКІВ НА ОСНОВІ ЛІЧИЛЬНИКІВ У РІЗНИХ ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВИХ БАЗИСАХ

В статті проведений аналіз теоретичних основ базисів Крестенсона та Галуа, як одних з найперспективніших шляхів для реалізації швидкодіючих процесорів опрацювання даних, оскільки вони характеризуються найкомпактнішими кодовими матрицями. Досліджено принципи виконання арифметичних операцій та їх характеристик системами числення, що утворюються на основі досліджуваних базисів. Також проведено дослідження системних характеристик синхронних лічильників в різних теоретико-числових базисах та розроблено модульні лічильники. Проведено дослідження апаратних та часових затрат для роботи відповідних лічильників.

Ключові слова: теоретико-числовий базис (ТЧБ), система залишкових класів (СЗК), вертикально-інформаційна технологія (ВІТ).

O.I. VOLYNSKYI, P.V. HUMENIY

Ternopil National Economic University

THEORETICAL FOUNDATIONS FOR IDENTIFYING RESIDUES BASED IN COUNTERS IN THE VARIOUS BETWEEN-BASES TRANSFORMATIONS

The paper is the research of the process of formation and use for work in Krestenson's theoretical-digital basis. Also, research and development of modular meters as one of the ways to implement components between-bases transformations.

The paper analyzed the theoretical foundations Krestenson's bases and Galois's bases as one of the most promising ways to implement high-speed data processing processors, since they possess the most compact code matrix. Research the principles of arithmetic operations and their characteristics notation, formed on the basis of the investigated bases. Also in the article studied the system characteristics of synchronous counters in various theoretical and numerical bases and developed a modular counters. Research hardware costs and time costs for the respective counters.

The obtained results show the possibility of using counters as modular component of Rademacher-Krestenson's between-bases transformations and demonstrate SRC the ability to integrate other TDB as built counters have provided the main elements of the number system - the remainder.

Keywords: theoretical-digital basis (TDB), the system of residual classes (SRC), vertical information technology (VIT).

Впродовж тривалого часу прогрес в області вдосконалення функціональних можливостей та технічних характеристик мікропроцесорів розвивався пропорційно тенденціям підвищення тактової частоти мікроелектронних компонентів, зменшення габаритів, енергоспоживання та підвищення надійності [1].

При цьому на межі 2000 року рівень мікроелектронної технології досяг границі 0,2-0,01 мкм, а в даний час інтенсивно розвиваються нано- та оптоелектронні технології реалізації компонентів на мікроелектронному рівні [2]. При цьому тактові частоти сучасних процесорів досягли значень 10 ГГц. Збільшення тактової частоти процесорів останнім часом зростає дуже повільно, це залежить від витрат енергії, підвищення максимальної температури, а також інших, заснованих на законах фізики, явищах. В останні десятиліття різко покращуються технології виготовлення малогабаритної постійної та оперативної пам'яті великих об'ємів (10 Гбайт – 10 Терабайт) [3].

Постановка проблеми

Високі вимоги до продуктивності сучасних процесорів забезпечуються використанням матричних і конвеєрних архітектур, які базуються на основі двійкової системи числення теоретико-числового базису Радемахера. Двійкова система числення має функціональні обмеження, зокрема, наявність мікрозрядних зв'язків, велику розрядність шин адрес, управління та даних ($n=32, 64, 128...$) і необхідність реалізації великого числа інформаційних міжкомпонентних зв'язків. Для усунення даних функціональних обмежень перспективними для побудови високопродуктивних процесорів з обмеженим числом міжкомпонентних зв'язків є теоретико-числові базиси (ТЧБ), відмінні від базису Радемахера, до яких належать ортогональні дискретні базиси: Крестенсона, Хаара, унітарний та Галуа.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Методологічні основи теорії проектування архітектури та функціональних характеристик процесорів розроблені відомими зарубіжними науковцями: Д. фон Нейман, М. Флін, Р. Хокні, Д. Скілкорн, Г.І. Новіков, С.А. Майоров; українськими вченими: В.М. Глушков, О.В. Палагін, Л.Д. Самофалов, А.О. Мельник, Б.М. Маліновський, М.В. Черкаський, Р.Б. Дунець [2-9]. У той же час, відомі класи процесорів не у повній мірі відповідають сучасним вимогам їх проектування на кристалах та мережевих комунікаційних середовищах. Для їх побудови недостатньо використовуються можливості теорії виконання арифметико-логічних операцій на основі рекурентних властивостей кодової системи базису Галуа. Не розроблені і не освоєні базові компоненти спецпроцесорів та їх компонентів на основі базисів Крестенсона та Галуа, у тому числі: аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) та арифметико-логічні пристрої, шифратори, дешифратори, адресні лічильники, асоціативна пам'ять з паралельним доступом та ін. Значний внесок у розвиток теорії побудови високопродуктивних спецпроцесорів на основі ТЧБ Крестенсона та Галуа

здійснили І.Я. Акушський, Я.М. Николайчук, Г.І. Брюхович, М.В. Синьков, В.П. Тарасенко, В.С. Глухов [11–17]. Перспективною є також побудова високопродуктивних мультитядерних та мультибазисних процесорних систем на основі вертикально-інформаційної технології (ВІТ) зі спільним потоком команд та опрацюванням біт-орієнтованих потоків інформації, що дозволяє реалізувати розпаралелення операцій формування, обробки, зберігання та колективного доступу до даних [18].

Отже, розробка компонентів операційних вузлів та структурна організація спецпроцесорів на основі ВІТ при застосуванні різних ТЧБ з покращеними технічними характеристиками, є актуальною науковою задачею.

Дослідження літературних джерел, що до застосування перспективних та найпоширеніших ТЧБ для перетворення, передавання та опрацювання інформаційних потоків в сучасних комп'ютерних системах показує, що:

1) в базисі Радемахера [19] реалізована виключна більшість універсальних процесорів комп'ютерної та комунікаційної техніки, а також сигнальних процесорів різних застосувань [20];

2) базис Крестенсона, який породжує систему числення залишкових класів знайшов успішне застосування для побудови спецпроцесорів стиснення інформації [10] та реалізації високопродуктивних процесорів опрацювання інформаційних потоків [14], системах протиповітряної оборони та опрацювання великорозрядних чисел в системах крипто захисту інформації;

3) базис Галуа серед відомих базисів отримав особливо широке застосування, для побудови спецпроцесорів та рішень прикладних задач в галузях:

а) аналого-цифрового перетворення та кодування інформації;

б) передавання інформації на основі кодів Баркера та М-последовательностей;

в) стиснення інформації [15].

Значні успіхи досягненні при побудові спецпроцесорів на основі комбінованого використання різних ТЧБ. Наприклад: Хаара-Крестенсона, Крестенсона-Галуа [15], а також, реалізації високопродуктивних мультибазисних RCG-процесорів на основі базисів Радемахера, Крестенсона та Галуа [14]. Оскільки найбільш взаємопов'язаними між собою є названі процесори, тобто, обчислювальні операції арифметики, які виконуються за один такт найбільш швидкодійні у базисі Крестенсона, представляється залишками базису Галуа в кодах базису Крестенсона. Тому, поглиблення теоретичних засад арифметики базису Крестенсона є найбільш важливим фактором вдосконалення та покращення системних характеристик широкого спектру спецпроцесорів опрацювання, багаторозрядних чисел, що визначає високий рівень актуальності дослідження в цьому напрямку.

Постановка завдання

1. Дослідження властивостей та характеристик системи залишкових класів (СЗК).
2. Принципи реалізації та оцінка функціональних можливостей реалізації арифметики та базових функцій над числами в базисах Радемахера, Крестенсона та Галуа.
3. Дослідження лічильників для визначення залишків в різних теоретико-числових базисах.

Теоретичні засади виконання та характеристики арифметико-логічних операцій у базисах Радемахера, Крестенсона та Галуа

Система числення залишкових класів, яка породжується теоретико-числовим базисом Крестенсона, характеризується суттєвими перевагами по відношенню до базису Радемахера при виконанні операцій додавання та множення. Оскільки СЗК непозиційна і в ній відсутні наскрізні переноси при виконанні арифметичних операцій, то процес виконання операцій додавання та множення виконується за один такт на основі матриць [10, 21]. Тому є важливим реалізація та дослідження міжбазисних перетворень Радемахера-Крестенсона для проектування спецпроцесорів опрацювання великорозрядних чисел.

Двійкова система числення належить до позиційних систем числення і є частковим випадком системи числення залишкових класів з набором модулів p^i , де $p=2, 3, \dots, 8, 10, 16, \dots$; $i=0, 1, 2, \dots$ [12, 22].

Арифметичні операції над двома числами у двійковій системі числення базису Радемахера описуються наступними виразами:

$$X = \sum_{i=0}^{n-1} x_i 2^i, \quad x_i \in \overline{0,1}; \quad Y = \sum_{i=0}^{n-1} y_i 2^i, \quad y_i \in \overline{0,1}.$$

Тобто, двійкові коди чисел X і Y :

$$X = (x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_i, \dots, x_0); \quad Y = (y_{n-1}, y_{n-2}, \dots, y_i, \dots, y_0).$$

визначаються на основі модульних операцій згідно аналітичних виразів:

$$\begin{array}{l} X \begin{cases} \nearrow \text{res}X(\text{mod } 2^0) = x_0; \\ \rightarrow \text{res}X(\text{mod } 2^1) = x_1; \\ \dots \dots \dots \\ \rightarrow \text{res}X(\text{mod } 2^i) = x_i; \\ \searrow \text{res}X(\text{mod } 2^{n-1}) = x_{n-1}; \end{cases} \quad Y \begin{cases} \nearrow \text{res}Y(\text{mod } 2^0) = y_0; \\ \rightarrow \text{res}Y(\text{mod } 2^1) = y_1; \\ \dots \dots \dots \\ \rightarrow \text{res}Y(\text{mod } 2^i) = y_i; \\ \searrow \text{res}Y(\text{mod } 2^{n-1}) = y_{n-1}; \end{cases} \end{array}$$

де res - операція знаходження найменшого невід'ємного залишка по модулю 2^i .

Невиконання умови взаємної простоти модулів в різних розрядах двійкових кодів відповідно ускладнює алгоритми додавання та множення двійкових чисел, оскільки при виконанні операції додавання між двійковими розрядами виникають наскрізні переноси з молодших в старші розряди.

$$\begin{array}{ccccccc} x_{n-1} & \dots & x_i & \dots & x_1 & x_0 \\ + & y_{n-1} & \dots & y_i & \dots & y_1 & y_0 \\ \hline P_n & P_{n-1} & \dots & P_i & \dots & P_1 & P_0 \\ \downarrow & \downarrow & \dots & \downarrow & \dots & \downarrow & \downarrow \\ S_n & S_{n-1} & \dots & S_i & \dots & S_1 & S_0 \end{array}$$

Наявність наскрізних переносів при виконанні операції додавання в базисі Радемахера в $2n$ -разів знижує швидкість виконання операції сумування чисел по відношенню до тактової частоти роботи процесорів. У зв'язку з цим існують різні способи побудови суматорів базису Радемахера з більш швидкою реалізацією наскрізних переносів, що особливо важливо при виконанні операцій над великорозрядними числами [22].

Відсутність взаємної простоти модулів системи числення базису Радемахера обумовлює значну складність алгоритмів множення двійкових чисел згідно графа (рис. 1) [22], де AND-лінійка операторів, яка формує n -розрядних результатів логічного множення множеного X на розряди множника Y , які зсуваються праворуч на R_i ($i=1, 2, \dots, n-1$).

Теоретичною основою системи числення залишкових класів (СЗК) є Китайська теорема про залишки [21], на основі якої реалізується пряме та зворотне перетворення СЗК:

$$\begin{array}{l} X \rightarrow \begin{cases} resX(\bmod p_0) = b_0; \\ resX(\bmod p_1) = b_1; \\ \dots \\ resX(\bmod p_i) = b_i; \\ \dots \\ resX(\bmod p_k) = b_k; \end{cases} \\ Y \rightarrow \begin{cases} resY(\bmod p_0) = a_0; \\ resY(\bmod p_1) = a_1; \\ \dots \\ resY(\bmod p_i) = a_i; \\ \dots \\ resY(\bmod p_k) = a_k; \end{cases} \end{array}$$

$$X = res \sum_{i=0}^{k-1} b_i \cdot B_i(\bmod P); \quad Y = res \sum_{i=0}^{k-1} a_i \cdot B_i(\bmod P),$$

де $P = \prod_{i=0}^{k-1} p_i$; $p_0, p_1, \dots, p_{k-1}$ – система взаємно простих модулів; $B_i = \frac{P}{p_i} \cdot m_i \equiv 1(\bmod p_i)$;

$0 \leq m_i \leq p_i - 1$ нормуючі коефіцієнти базисних чисел B_i .

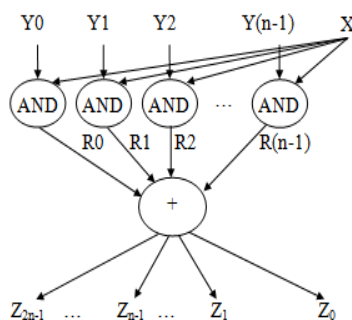


Рис. 1. Граф виконання операції множення в базисі Радемахера

Виконання умови взаємної простоти модулів СЗК базису Крестенсона суттєво спрощує алгоритми виконання операцій додавання та множення над числами, представленими кодами СЗК $X = (b_0, b_1, \dots, b_j, \dots, b_{k-1})$ та $Y = (a_0, a_1, \dots, a_j, \dots, a_{k-1})$ згідно з граф-алгоритмами рис. 2, де $(+)$ res відповідає операції $C_j = res(b_j + a_j) \bmod P_j$, а $(\times)$ res – операції $\gamma_j = res(b_j \cdot a_j) \bmod P_j$:

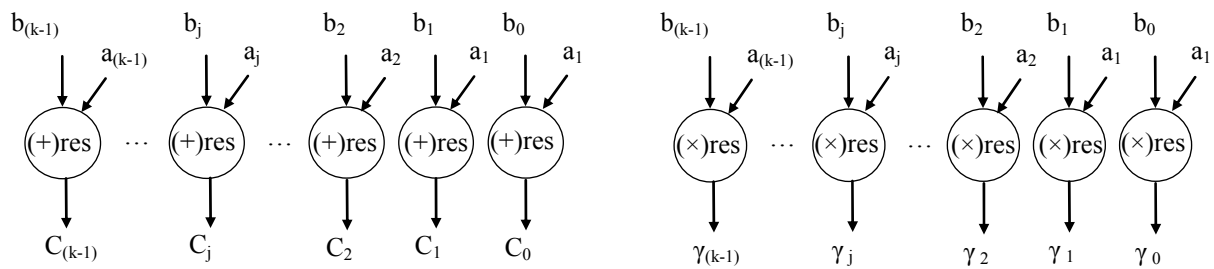


Рис. 2. Графи виконання операцій додавання та множення в базисі Крестенсона.

Головною особливістю представлення даних в базисі Галуа є рекурентність [23]. Суть рекурентності полягає в максимальній упаковці біт-орієнтованої послідовності кодового ключа

$$X_{i+1} = \sum_{j=1}^n (X_i \oplus X_{i-j}),$$

де $\oplus$ – символ додавання по $\text{mod}2$; n – число пар елементів кодового ключа.

Коди поля Галуа [24] за загальною класифікацією відносяться до підкласу циклічних блокових кодів, які володіють всіма основними властивостями завадозахищених кодів. В блокових кодах послідовність елементарних повідомлень розбивається на блоки символів ($B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$) фіксованої довжини K , кожному з яких ставиться у відповідності певна комбінація символів кодового слова ($b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$). Циклічні коди Галуа відносяться до класу систематичних кодів. Для останніх можна записати відповідний їм аналітичний вираз у вигляді логічного співвідношення, яке визначається правилами створення цих кодів. Найбільш зручною формою представлення циклічних кодів є використання алгебраїчного виразу [25]

$$G(x) = a_{n-1} \times x^{n-1} + a_{n-2} \times x^{n-2} + a_1 \times x + a_1,$$

де $a_0 - a_{n-1}$ – числа, що дорівнюють «0» чи «1», які визначають відповідні значення розрядів кодових комбінацій.

Наприклад, у полі Галуа $GF\left(\begin{smallmatrix} 5 \\ 2 \end{smallmatrix}\right)$ з ключем 10010 на основі незвідного полінома

$x^5 + x^2 + 1$ формується послідовність елементів $a_0, a_1, a_2, \dots, a_{31}$, де a_{31} це – $\emptyset$ останній многочлен, визначається на основі рекурентного рівняння

$$G_{i+1} = G_i \oplus \bar{G}_{i-n}; n=5,$$

та має вигляд послідовності елементів: 11111001101001000001010111011000, які кодують числа у діапазоні 0, 1, 2, ..., 31:

$$\begin{aligned} & b_5, b_4, b_3, b_2, b_1, b_2 \oplus b_5, b_1 \oplus b_4, b_2 \oplus b_3 \oplus b_5, b_1 \oplus b_2 \oplus b_4, b_1 \oplus b_2 \oplus b_3 \oplus b_5, b_1 \oplus b_4 \oplus b_5, \\ & b_2 \oplus b_3 \oplus b_4 \oplus b_5, b_1 \oplus b_2 \oplus b_3 \oplus b_4, b_1 \oplus b_3 \oplus b_5, b_4 \oplus b_5, b_3 \oplus b_4, b_2 \oplus b_3, b_1 \oplus b_2, \emptyset, b_1 \oplus b_2 \oplus b_5, \\ & b_1 \oplus b_2 \oplus b_4 \oplus b_5, b_1 \oplus b_2 \oplus b_3 \oplus b_4 \oplus b_5, b_1 \oplus b_3 \oplus b_4 \oplus b_5, b_3 \oplus b_4 \oplus b_5, b_2 \oplus b_3 \oplus b_4, b_1 \oplus b_2 \oplus b_3, \\ & b_1 \oplus b_5, b_2 \oplus b_4 \oplus b_5, b_1 \oplus b_3 \oplus b_4, b_3 \oplus b_5, b_2 \oplus b_4, b_1 \oplus b_3. \\ & b_{31} = \emptyset, \text{ де } \emptyset - \text{пуста множина.} \end{aligned}$$

На основі даного співвідношення на рис. 3 показаний принцип формування 5-розрядного коду Галуа.

Рис. 3. Формування коду Галуа при $n=5$

Відповідно за даним принципом на основі незвідних поліномів формуються n -розрядні двійкові коди Галуа. Результати досліджень, показані в роботі [3] вказали на ефективність теоретико-числових перетворень із застосуванням теорії полів Галуа, які дозволяють реалізувати швидкі прямі алгоритми обчислень, що зумовлені простотою апаратної реалізації на базі процедур зсуву. Коди поля Галуа володіють одними з кращих характеристик кодової дистанції і кореляційних функцій, а також множинністю алгоритмів декодування, які реалізуються на основі високорегулярних послідовних структур. Всі $2^n - 1$ n -розрядні ненульові кодові комбінації послідовності Галуа є результатом циклічного зсуву вихідного ненульового кодового фрагменту і мають однакову вагу, що характеризує їх, як еквідистантні, або симплексні [23].

Складність виконання арифметичних операцій у полях Галуа визначається великою розрядністю операндів та необхідністю порівняння проміжних результатів з модулем n [10]. Відомий метод Монтгомері [11], який полягає у виконанні вказаних операцій за модулем $N > n$, із зведенням всіх проміжних результатів r , більших або рівних N за модулем n . N вибирають зручним для аналізу умови $r < N$. Недоліками методу є

низька швидкодія довгих комбінаційних схем додавання необхідного для зведення за модулем p невизначеність часу обчислення (для різних проміжних результатів модулів) від 0 до 4 зведень за модулем p . Тому актуальним є задача прискорення обчислень за методом Монтгомері, стабілізації часу обчислень та переходу від математичної до логічної реалізації.

У скінченних полях Галуа на основі вищенаведених властивостей визначені алгоритми основних арифметичних модулів, за деяким простим числом p , операцій сумування та множення, на основі яких базуються похідні операції віднімання та ділення. Існуючі алгоритми логарифмування – функцій Якобі-Зеха [23, 24], із додаванням за $mod 2$ часткових добутків та кодів поправок, на основі регістрів зсуву із зворотними зв'язками, двійкових векторів та поліномів, розкладу за нормальним базисом в окремих випадках мають досить просту технічну реалізацію, однак передбачають виконання цілого ряду послідовних проміжних операцій, що значно обмежує швидкодію обчислення кінцевого результату, а за деяких умов унеможлиблює використання такого алгоритму [15].

Так, процедура виконання арифметичних операцій в полях Галуа визначається правилами додавання, віднімання, множення, ділення над відповідними поліномами по модулю P .

При цьому операція множення реалізується у вигляді згортки двох многочленів:

$$A(x) = a_{k-1}x^{k-1} + a_{k-2}x^{k-2} + \dots + a_1x + a_0; \quad H(x) = h_{r-1}x^{r-1} + h_{r-2}x^{r-2} + \dots + h_1x + h_0.$$

Операція згортки послідовно починається зі старших розрядів за k – тактів. Результат згортки отримує вигляд:

$$A(x) \cdot H(x) = a_{k-1} \cdot h_{r-1}x^{r-2} + (a_{k-2} \cdot h_{r-1} + a_{k-1} \cdot h_{r-2})x^{k+r-3} + (a_{k-3} \cdot h_{r-1} + a_{k-2} \cdot h_{r-2} + a_{k-1} \cdot h_{r-3})x^{k+r-3} + \dots + (a_2h_2 + a_1h_1 + a_0h_0) \cdot x^2 + (a_0h_1 + a_1h_0) \cdot x + a_0h_0.$$

Важливою перевагою такої рекурсивної процедури множення є простота реалізації процесора на регістрах зсуву [24].

Здійснення арифметичних операцій в полі Галуа характеризується різною формою подання двох операндів. Перший операнд подається у вигляді коду, а другий – у вигляді логічних рівнянь, які визначають операції над значенням коду першого операнда [23].

За умови простої технічної реалізації наведених процедур на основі регістрів зсуву швидкодія вказаного методу достатньо низька та визначається розрядністю k та r операндів, відповідно кількістю тактів перемноження (максимально теоретично можлива – $(k+r)$).

Незважаючи на те, що код Галуа є непозиційним, в цьому коді існує правило операцій рекурсивного зсуву, які дозволяють виконувати арифметичні дії та обчислення над двійковими числами – полями кодів.

Найбільш компактні кодові матриці формують системи ортогональних функцій базисів Радемахера, Крестенсона та Галуа. При чому кожен з названих базисів породжує окрему систему числення, які використовуються для реалізації арифметики відповідних універсальних та спеціальних процесорів. Висока популярність та широке застосування базису Радемахера ґрунтується на достатньо простій реалізації арифметики позиційної двійкової системи числення, яка включає шість базових операцій [19]:

- | | |
|-------------------|--------------------------------|
| 1) додавання «+»; | 5) знакова (старшинства) «<>»; |
| 2) зсув «→ ←»; | 6) віднімання «-»; |
| 3) множення «×»; | 7) ділення «/»; |
| 4) рівності «=»; | 8) модульна «mod». |

3 метою підвищення ефективності міжбазисних перетворень запропонована бінарно-розмежована система числення залишкових класів (БРСЗК) [26].

Важливе значення, також, має програмно-апаратна, структурна та алгоритмічна складність міжбазисних перетворень в середовищі досліджуваних ТЧБ.

Дослідження та оцінка функціональних можливостей реалізації арифметики та базових функцій над числами в базисах Радемахера, Крестенсона та Галуа.

Порівняльна оцінка функціональних можливостей досліджуваних ТЧБ подана в табл. 1.

Таблиця 1

Функціональні можливості досліджуваних ТЧБ

№	Базові операції	Радемахер	Крестенсон	Галуа	БРСЗК
1	Додавання	$2nv$	v	$3v$	v
2	Зсув	v	-	$2v$	v
3	Множення	$2v(2n+1)$	v	?	?
4	Рівності	v	v	v	v
5	Знакова(старшинства)	nv	?	?	nv
6	Віднімання	$(3n+5)v$	?	?	$2nv$
7	Ділення	n^2v	?	-	?
8	Модульна	n^2v	$2nv$	?	$2nv$

В таблиці 2 n – розрядність представлення чисел, а v – тривалість спрацювання мікроелектронного

обладнання. Перспективними для дослідження являються лічильники, що дозволяють отримати залишки чисел в різних теоретико-числових базисах.

Роздільна здатність такого лічильника, тобто мінімальний інтервал між вхідними імпульсами, дорівнює одному періоду тактових імпульсів. Зверху ніяких обмежень на проміжок часу між сусідніми вхідними імпульсами немає. Час встановлення нового коду на всіх розрядах регістра, що входить у лічильник (на виходах *Вих. тр.*), дорівнює одному періоду тактових імпульсів $t_{вст}=T$. Час видачі сигналу 2^n-1 , про заповнення лічильника з моменту надходження останнього, вихідного імпульсу дорівнює $0,5T$ [25]. Важливою перевагою лічильника на основі регістра зі зворотними зв'язками є також те, що тут практично відсутні обмеження на кількість розрядів, поєднаних однією загальною структурою (однією групою лічильника). Час видачі сигналу про заповнення лічильника при використанні двоступінчастої схеми І збільшиться лише на $0,5T$, тобто стане рівним T .

За економічністю структури лічильник на основі регістра з функціональними зворотними зв'язками значно кращий, ніж лічильники, побудовані по «класичній» схемі з застосуванням T -тригерів [25]. Викладене дозволяє зробити висновок, що розглянутий лічильник є у синхронній системі найбільш зручною і доцільною для застосування структурою, особливо корисною в тих випадках, коли потрібна висока швидкодія.

Вихідна послідовність даного типу лічильників є псевдовипадковою величиною, оскільки структура лічильника Галуа є аналогічною до структур генераторів M -послідовностей, що будуються на базі регістрів зсуву зі зворотними зв'язками. Системні характеристики синхронних лічильників в різних теоретико-числових базисах представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Системні характеристики синхронних лічильників в різних теоретико-числових базисах.

Базис	Час видачі сигналу	Кількість кодових комбінацій	Кількість елементів І-НЕ	Регулярність структури	Вихідний код
1	2	3	4	5	6
Унітарний	$t=T$	$N=n$	$K=8n+2$	так	Паралельний/послідовний
Хаара	$t=T$	$N=n$	$K=4n$	так	паралельний
Крейга	$t=T$	$N=2 \cdot n$	$K=4n$	так	Паралельний/послідовний
Радемахера	$t=2T$	$N=2^n$	$K=8n+2 (n-2)$	ні	паралельний
Крестенсона	$t=2T$	$N = \prod_{i=1}^m P_i$	$K = \left[\sum_{i=1}^n (\hat{E}(\log P_i) \cdot 8 + 2 \cdot \hat{E}(\log P_i) - 2) \right]$	ні	паралельний
Галуа	$t=0,5T$	$N=2^n-1$	$K=4n+4$	так	Паралельний/послідовний

На рис. 4 представлено порівняльну гістограму ефективності синхронних лічильників в різних кодових базисах, побудовану за табл. 2. Як видно рис. 5, найбільш ефективні системні характеристики лічильника базису Галуа, що зумовлює доцільність подальших досліджень і пошуку використання цифрових пристроїв даного типу. Незважаючи на те, що код Галуа є непозиційним, в цьому коді існує правило операцій рекурсивного зсуву, які дозволяють виконувати арифметичні дії та обчислення над двійковими числами – полями кодів.

Дослідження лічильників для визначення залишків в різних теоретико-числових базисах

Створення спецпроцесорів опрацювання багаторозрядних чисел у базисі Крестенсона потребує схемотехнічної реалізації спеціалізованих компонентів: лічильників по модулю P ; аналого-цифрових перетворень базису Крестенсона [16, 17]; шифраторів Радемахера-Крестенсона [19]; рандомізаторів по модулю p_i .

Вказані модульні компоненти спецпроцесорів досліджуваного класу можуть бути з різною ефективністю реалізовані на основі алгоритмічного та схемо-технічного виконання у різних теоретико-числових базисах (ТЧБ) згідно заданих критеріїв мінімальної апаратної та часової складності в залежності від типу обчислювальних задач.

Тому створення цих компонентів спецпроцесорів у базисі Крестенсона потребує теоретико-математичної формалізації алгоритмів виконання операцій такими цифровими пристроями та оптимізації їх програмно-апаратних, функціонально-структурних та схемо технічних рішень.

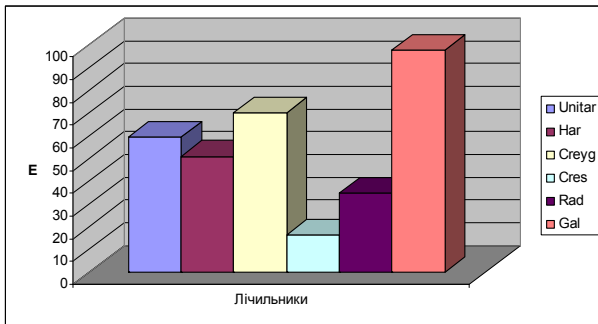


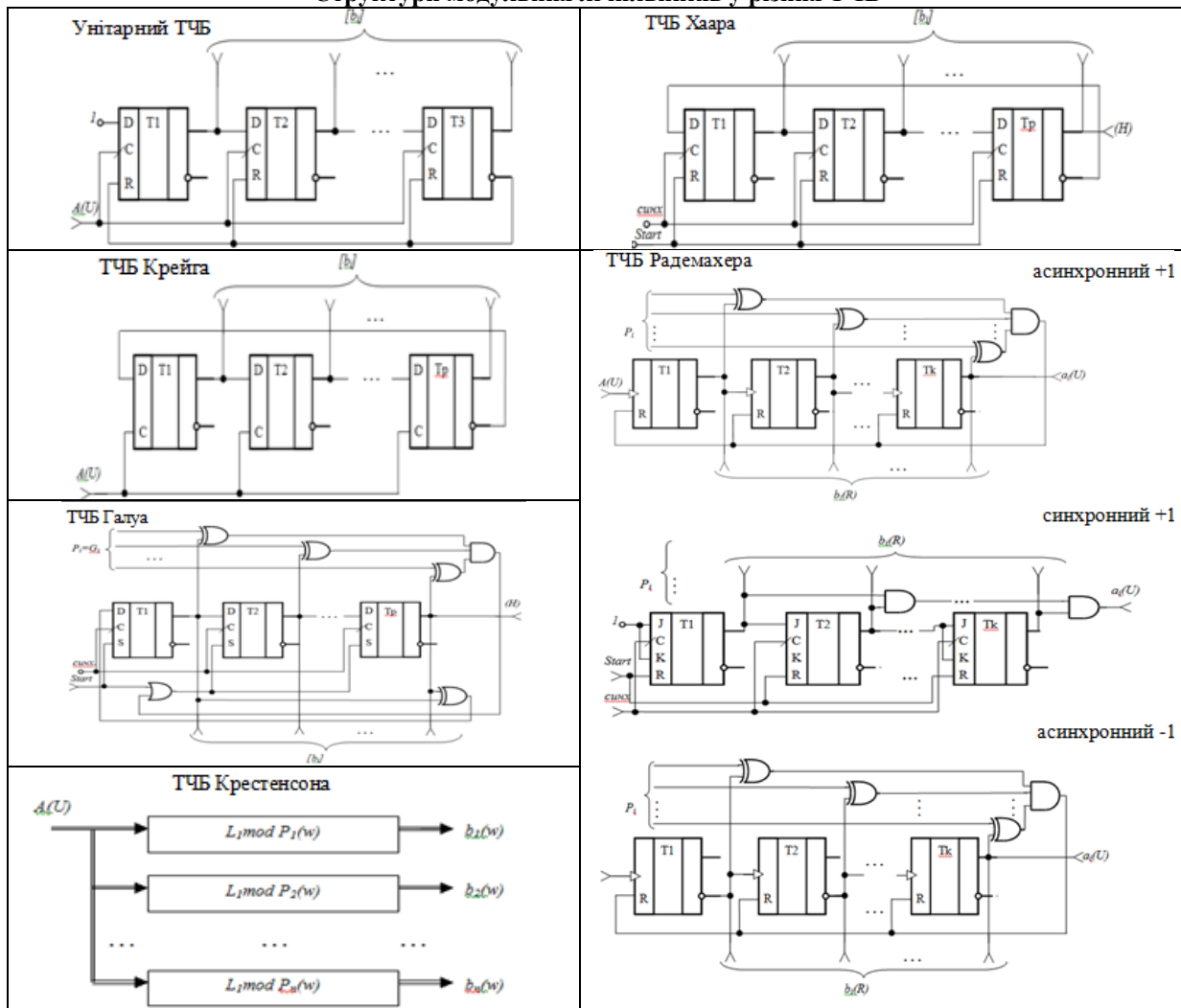
Рис. 4. Ефективність синхронних лічильників в різних кодових базисах

Таблиця 3
Модульні лічильники у різних ТЧБ

ТЧБ	Асинхронні	Синхронні
Унітарний	-	+1
Хаара	-	+1
Крейга	-	+1
Радемахера	+1, -1	+1
Галуа	-	+1, -1
Крестенсона	+1, -1	+1

Таблиця 4

Структури модульних лічильників у різних ТЧБ



Алгоритм даного класу пристроїв отримання залишків по модулю реалізується для ТЧБ унітарного, Хаара, Крейга та Радемахера згідно виразів:

$$b_i(U) = \text{res}A(U)(\text{mod } P_i(U)),$$

де b_i – код залишку у відповідному ТЧБ; $A(U)$ – унітарний код числа з якого отримується залишок по модулю P_i ; $P_i = (2, 3, \dots, U-1)$ – ціле число; $b_i(H) = \text{res}A(U)(\text{mod } P_i(H))$ – Хаара; $b_i(K) = \text{res}A(U)(\text{mod } P_i(R))$ – Крейга; $b_i(R) = \text{res}A(U)(\text{mod } P_i(R))$ – Радемахера.

У загальному випадку обчислення залишку та рангу числа A на основі модульного лічильника у ТЧБ (w) описується виразами:

$$A = a_i \cdot P_i + b_i; \quad b_i(w) = \text{res}A(U)(\text{mod } P_i(w)); \quad a_i(U) = \left(\frac{A - b_i}{P_i} \right)(U),$$

де $b_i(w)$ – паралельний код залишку числа A по модулю P_i у ТЧБ (w); $a_i(U)$ – унітарний код рангу числа

A по модулю P_i у ТЧБ (w). Алгоритм обчислення залишку у ТЧБ Галуа виконується згідно виразу :

$$G_{i+1} = \text{res}(x_i \cdot G_i \oplus x_{i-1} \cdot G_{i-1} \oplus \dots \oplus x_{i-n} \cdot G_{i-n}) \bmod 2,$$

де $x_i \ x_{i-1} \ x_{i-n}$ – незвідний поліном (ключ) поля Галуа $G\left(\frac{n}{2}\right)$.

При цьому, особливістю ТЧБ Галуа є те, що, на відміну від інших базисів, на паралельному виході лічильника Галуа формується паралельний бінарний код залишку, а на послідовному виході формується послідовний біт-орієнтовний код Галуа залишку. Реалізація відповідного модульного лічильника виконується на базі синхронних D -тригерів згідно значенню модуля P_i заданого у коді Галуа, що забезпечує високу швидкодію даного класу процесорних модулів і меншу апаратну складність по відношенню до синхронних пристроїв визначення залишку у базисі Радемахера.

Алгоритм обчислення залишку на основі модульних лічильників базису Крестенсона реалізується згідно виразів:

$$b_i(C) = \text{res}(U) \bmod P_i(C), \text{ якщо } P_i = P_i^2(R);$$

$$C_k = \begin{cases} 1, & (b_i + b_j) = P_1 + 1, \\ 2, & (b_i + b_j) = P_2 + 2, \\ \dots & \\ k, & (b_i + b_j) = P_1 + k, \\ \dots & \\ P-1, & (b_i + b_j) = P + (P-1), \end{cases}$$

тобто $C(b_1(w), b_2(w), \dots, b_j(w), \dots, b_k(w)) = \text{res}A(U) \bmod (P_1(w), P_2(w), \dots, P_j(w), \dots, P_k(w))$, якщо $P_i = \prod_{j=1}^k P_j$.

В табл. 5 представлені формули обчислення відповідних характеристик синхронних лічильників де n – розрядність лічильника; A – апаратні затрати; T – часові затрати; DR – D -тригер з додатковим входом R ; D – D -тригер; DS – D -тригер з додатковим входом S ; вик.АБО – виключаюче АБО; $ЛЕ$ – логічний елемент; JKR – JK -тригер з додатковим входом R . Також для обчислення характеристик лічильника в базисі Крестенсона було встановлено умову, що кодування в діапазоні n , будуть використовуватися 4 модуля однакової розрядності (розрядність модуля $n/2$).

Таблиця 5

Дослідження апаратних та часових затрат при проектуванні синхронних лічильників в різних ТЧБ

ТЧБ	Формула обчислення апаратних затрат синхронних лічильників в різних ТЧБ	Формула обчислення часових затрат синхронних лічильників в різних ТЧБ
Унітарний	$A_{Uni} = A_{DR} \cdot n$	$T_{Uni} = T_{DR} \cdot n$
Хаара	$A_{Har} = A_{DR} \cdot n$	$T_{Har} = T_{DR} \cdot n$
Крейга	$A_{Kre} = A_D \cdot n$	$T_{Kre} = T_D \cdot n$
Галуа	$A_{Gal} = (A_{DS} + A_{\text{вик.АБО}}) \cdot n + (A_{\text{вик.АБО}} + 2 \cdot A_{ЛЕ})$	$T_{Gal} = T_{DS} \cdot n + T_{\text{вик.АБО}} + T_{ЛЕ}$
Радемахера	$A_{Rad} = A_{JKR} \cdot n + A_{ЛЕ} \cdot (n-1)$	$T_{Rad} = T_{JKR} \cdot n + T_{ЛЕ}$
Крестенсона	$A_{Krs} = 4 \cdot (A_{JKR} \cdot n + A_{ЛЕ} \cdot (n-1))$	$T_{Krs} = T_{JKR} \cdot n + T_{ЛЕ}$

Відповідно до таблиці в якій представлені формула обчислення апаратних та часових затрат синхронних лічильників в різних ТЧБ побудовані графіки представлені на рис. 5 та рис. 6.

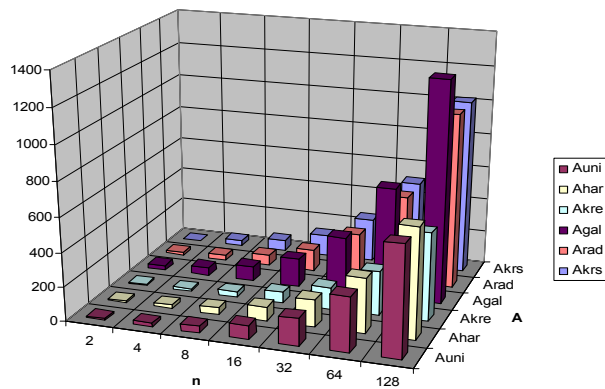


Рис. 5. Апаратні затрати синхронних модульних лічильників в різних ТЧБ

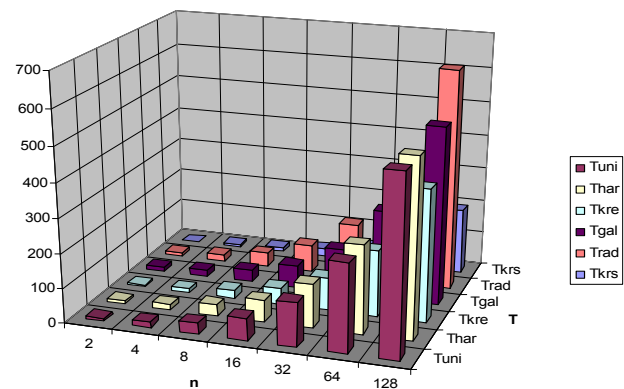


Рис. 6. Часові затрати синхронних модульних лічильників в різних ТЧБ

Досліджені апаратні та часові затрати модульних лічильників демонструють перевагу в часових затрат та деякий ріст апаратних для лічильника базису Крестенсона в порівнянні з лічильниками в інших ТЧБ і хоча він є не ефективними для реалізації міжбазисного перетворення Радемахера-Крестенсона, але його реалізація та аналогічних лічильників в інших ТЧБ дають наглядний приклад можливості застосування лічильників в якості компонента міжбазисного перетворювача для відповідних ТЧБ.

Висновки

В статті проведений аналіз теоретичних основ базисів Крестенсона та Галуа, як одних з найперспективніших шляхів для реалізації швидкодіючих процесорів опрацювання даних, оскільки вони характеризуються найкомпактнішими кодовими матрицями. Досліджено принципи виконання арифметичних операцій та їх характеристик системами числення, що утворюються на основі досліджуваних базисів. Також в статті проведено дослідження системні характеристики синхронних лічильників в різних теоретико-числових базисах та розроблено модульні лічильники. Проведено дослідження апаратних та часових затрат для роботи відповідних лічильників.

Отримані результати досліджень доводять можливість використання модульних лічильників як компонента міжбазисного перетворення Радемахера-Крестенсона та демонструють можливість інтеграції СЗК в інші ТЧБ, оскільки побудовані лічильники дозволяють отримати основний елемент відповідної системи числення – залишок.

Література

1. Flynn M. Some Computer Organizations and Their Effectiveness / M. Flynn // IEEE Trans. Computers. – 1972. – Vol. 21, No. 9. – pp. 948–960.
2. Хокни Р. Параллельные ЭВМ. Архитектура, программирование и алгоритмы / Р. Хокни, К. Джессхоуп. – М. : Радио и связь, 1986. – 392 с.
3. Майоров С.А. Принципы организации цифровых машин / С.А. Майоров, Г.И. Новиков. – Л. : Машиностроение, 1974. – 432 с.
4. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики / В.М. Глушков. – М. : Наука, 1987. – 552 с.
5. Палагин А.В. Опыт разработки микропроцессорных распределенных систем реального времени / А.В. Палагин, Я.Н. Николайчук. – К. : Знание, 1988. – 19 с.
6. Справочник по цифровой вычислительной технике: Процессоры и память / [Б.Н. Малиновский, Е.И. Брюхович, Е.Л. Денисенко и др.] ; под ред. Б.Н. Малиновского. – К. : Техника, 1979. – 366 с.
7. Самофалов К.Г. Цифровые ЭВМ / К.Г. Самофалов, В.И. Корнейчук, В.П. Тарасенко. – К. : Выща школа, 1989. – 424 с.
8. Дунець Р.Б. Арифметичні основи комп'ютерної техніки : [навч. посіб.] / Р.Б. Дунець, О.Т. Кудрявцев. – Львів : Ліга-Прес, 2006. – 142 с.
9. Черкаський М.В. Складність пристрою керування / М.В. Черкаський, Мурад Хуссей Халіл // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Львів, 2004. – № 521. – С. 3–7.
10. Николайчук Я.М. Теория джерел інформації / Я.М. Николайчук. – Тернопіль : ТзОВ "Тернограф", 2010. – 536 с. – (Видання друге, виправлене).
11. Глухов В.С. Спеціалізований однорозрядний процесор для захисту інформації в гарантоздатних системах / В.С. Глухов, М.В. Ногаль // Радіоелектроніка і комп'ютерні системи. – 2008. – № 5(32). – С. 103–109.
12. Акушский И.Я. Машинная арифметика в остаточных классах / И.Я. Акушский, Д.И. Юдицкий. – М. : Сов.радио, 1968. – 440 с.
13. Computer technologies in information security : monograph / [Petro Humennyi and others] ; edited by Valeriy Zadiraka, Yaroslav Nykolaichuk. – Ternopil : Kart-blansh, 2015. – P. 387.

14. Заставний О.М. Теорія та принципи побудови спецпроцесора на основі базисів Радемахера, Крестенсона, Галуа / О.М. Заставний, Я.М. Николайчук, Н.Д. Круцкевич, Р.І. Король // Тези доповідей сьомої міжнародної науково-технічної конф. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2003 – С. 114.
15. Яцків Н.Г. Спецпроцесори обробки даних на основі перетворення Крестенсона-Галуа / Н.Г. Яцків, Р.І. Король, В.В. Яцків, Т.Г. Федчишин // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2003. – № 3. – С. 105–108.
16. Николайчук Я.М. Теоретичні основи побудови спецпроцесорів у базисі Крестенсона / Я.М. Николайчук, О.І. Волинський, С.В. Кулина // Вісник Хмельницького національного університету – 2007. – Т. 1, № 3 (93). – С. 85–90.
17. Николайчук Я.М. Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем : [навч. посіб. для вузів] / Я.М. Николайчук, Н.Я. Возна, І.Р. Пітух. – Т. : Тено-граф, 2010. – 392 с.
18. Патент на корисну модель № 83756 Україна, МПК G06F 1/00. Спосіб паралельного доступу до пам'яті колективного користування / Я.М. Николайчук, П.В. Гуменний. – опуб. 25.09.2013, бюл. № 18.
19. Николайчук Я.М. Швидкодіючий алгоритм та процесор порівняння чисел у системі залишкових класів / Я.М. Николайчук, О.І. Волинський, С.В. Кулина // Искусственный интеллект : науково-теоретичний журнал. ІППІ МОН і НАН України "Наука і освіта". – 2008. – № 3. – С. 348–352.
20. Advanced Micro Devices, AMD – Processor Homepage [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://amd.com>.
21. Николайчук Я.М. Теоретичні основи побудови та структура спецпроцесорів в базисі Крестенсона / Я.М. Николайчук, О.І. Волинський, С.В. Кулина // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 3. Т. 1. – С. 85–90.
22. Мельник А.О. Архітектура комп'ютера : наукове видання / А.О. Мельник. – Луцьк : Волинська обласна друкарня, 2008. – 470 с.
23. Николайчук Я.М. Теоретичні засади та принципи побудови арифметико-логічного пристрою на основі вертикально-інформаційної технології / Я.М. Николайчук, О.М. Заставний, П.В. Гуменний // Вісник Хмельницького національного технічного університету. – 2012. – № 2. – С. 190–197.
24. Гуменний П.В. Функціональна структура спецпроцесора вертикально-інформаційної технології та його компоненти / П.В. Гуменний, Я.М. Николайчук // Вісник національного університету "Львівська політехніка". – 2012. – № 745. – С. 69–77.
25. Гуменний П.В. Аналіз архітектури лічильників, вертикально-інформаційна технологія у різних теоретико-числових базисах / П.В. Гуменний // Інформаційні проблеми комп'ютерних систем юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання, та управління (ПНМК) : матеріали міжнародної проблемної наукової міжгалузевої конференції. – 2011. – № 7. – С. 62–67.
26. Волинський О.І. Розмежована система числення залишкових класів та спецпроцеси на її основі / О.І. Волинський, І.З. Якименко // Збірник праць Буцацького інституту менеджменту і аудиту. – Бучач, 2010. – Т. 1, № 6. – С. 80–83.

Рецензія/Peer review : 25.7.2016 р.

Надрукована/Printed : 26.8.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор Я.М. Николайчук

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ОПОРНОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ФАЗОВИХ ВИМІРЮВАНЬ. ЧАСТИНА 1

В статті показано побудову опорного генератора із застосуванням цифрового синтезатора AD9850. Визначено, що стабільність цього генератора дозволяє реалізувати керований генератор опорного сигналу високої точності для задач фазових вимірювань.

Ключові слова: генератор.

K.L. HORIASHCHENKO, S.L. HORIASHCHENKO

Khmelnytsky national university

PRACTICAL IMPLEMENTATION OF THE REFERENCE OSCILLATOR FOR PHASE MEASUREMENTS. PART 1

The article shows the construction of the reference generator using digital synthesizer AD9850. It was determined that the stability this generator allows you to implement a managed reference signal generator for high-precision phase measurements tasks.

Keywords: generator.

Вступ

В цілому ряді сучасних робіт вказується на виконання діагностики кабельних ліній із застосуванням як неруйнуючих так і руйнуючих методів. Неруйнівні методи набули широкого застосування через зручність виконання вимірювання як в процесі роботи об'єкту так і поза робочим режимом.

Фазовий метод в числі неруйнівних методів вимірювання має найбільший потенціал з вимірювання відстані. Проте точність методу ґрунтується на застосуванні одного з таких елементів як опорного генератора.

Постановка задачі дослідження

На рис.1 показана типова структура вимірювальної системи із застосуванням фазового методу. Як видно на рисунку, фазометр взаємодіє з синтезатором частоти. При цьому, фазометр в своєму складі має також синтезатор опорної частоти. Вид стабільності опорної частоти буде залежати точність вимірювання.

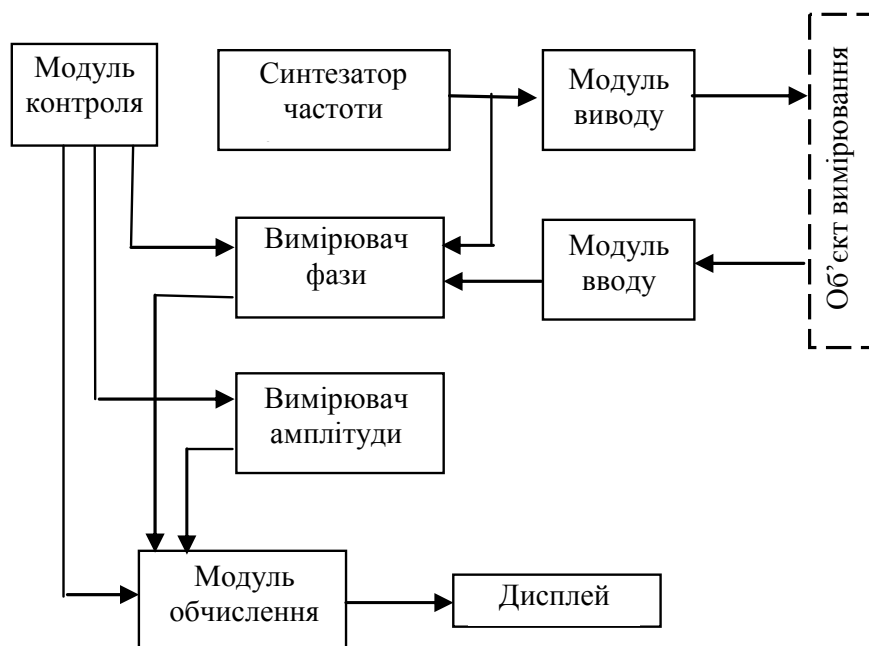


Fig. 1. Generic structure of generating and measuring system of radiolocation information

Як було показано в роботі [4], для забезпечення стабільності вимірювання кута зсуву фази, потрібно забезпечити стабільність опорної частоти.

Основна частина

Задача практичної імплементації полягає у представленні практичної реалізації опорного генератора. Для реалізації обрано застосування синтезатора частоти на базі інтегральної схеми Analog Device AD9850BRS2 [1] (рис. 2). Плата синтезатора представляє собою типову реалізацію генератора синусоїдальних сигналів без фільтра із опорним тактовим генератором типу AX0-400B3 на 125 МГц [2]. Його нестабільність складає ± 50 ppm, річна нестабільність – ± 5 ppm/рік. Обраний тип генератора AX0-400B3 та AD9850BRS2 на 3.3В живлення спрощує поєднання у загальну схему з мікроконтролером та

індикатором.

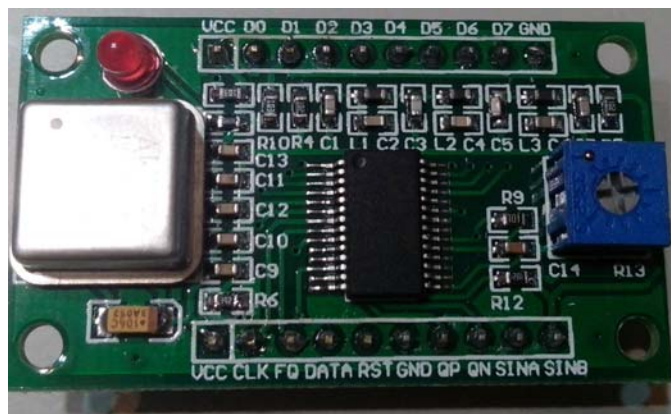


Рис. 2. Синтезатор частоти на базі інтегральної схеми Analog Device AD9850BRS2

Властивості синтезатора частоти AD9850 було розглянуто у роботі [3]. В даній роботі показано достатність параметрів генератора для синтезу довільної сітки частот.

Для керування генератором застосовано мікроконтролер AT91SAM7S128 (рис. 3).



Рис. 3. Плата із контролером AT91SAM7S128

Контролер AT91SAM7S128 серії AT91SAM7 обрано через наявність бібліотек роботи з дисплеєм з контролером ILI9341. Контролер ILI9341 застосовується для побудови TFT дисплеїв. В проекті використаний QVGA дисплей 2.2" (рис. 4.).



Рис. 4. TFT дисплей на базі контролера ILI9341 з SPI інтерфейсом

Наявність порту USB на платі контролеру дозволяє отримати з одного боку живлення +5В. А з іншого – доступний інтерфейс обміну інформацією з комп'ютером користувача.

Взаємодія з дисплеєм відбувається за протоколом SPI із розширеним керуванням. В даному випадку

використовується інтерфейс, в якому доступні також CS (Chip Select), RESET, D/C (Data/Code). Програмний код сформовано із застосуванням кодів для мови C для контролерів AVR та ARM.

На рис. 5. показано налаштування виводів контролера для керування сигналами DC, RESET, CS.

```
#define TFT_RESET_PIN  GPIO_Pin_2
#define TFT_DC_PIN      GPIO_Pin_3
#define TFT_CS_PIN      GPIO_Pin_4

#define TFT_DC_SET      GPIO_SetBits(GPIOA, TFT_DC_PIN);
#define TFT_DC_RESET    GPIO_ResetBits(GPIOA, TFT_DC_PIN);

#define TFT_RST_SET     GPIO_SetBits(GPIOA, TFT_RESET_PIN);
#define TFT_RST_RESET   GPIO_ResetBits(GPIOA, TFT_RESET_PIN);

#define TFT_CS_SET      GPIO_SetBits(GPIOA, TFT_CS_PIN);
#define TFT_CS_RESET    GPIO_ResetBits(GPIOA, TFT_CS_PIN);
```

Рис. 5. Початкова ініціалізація портів контролера

Алгоритм взаємодії між елементами пристрою показано на рис. 6.



Рис. 6. Алгоритм роботи генератора

Висновки

В результаті розроблено апаратну реалізацію генератора частоти із застосуванням цифрового синтезатора частоти AD9850 та мікроконтролера AT91SAM7128.

Література

1. AD9850. CMOS, 125 MHz Complete DDS Synthesizer. Analog Device. <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9850.pdf>
2. CRYSTAL OSCILLATORS. <http://www.postcogito.org/BcdClock/aker-axo.pdf>
3. Горященко К.Л., Полікаровських О.І. Вплив нерівномірності спектру сигналу опорного генератора при спектральному аналізі сигналів в фазовій дальнометрії / К.Л. Горященко, О.І. Полікаровських // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – №2. – С. 243-249
4. Гула І.В. Побудова ноніусного фазометру із застосуванням мікропроцесорної техніки / І.В. Гула, К.Л. Горященко, Л.В. Карпова, В.В. Стрельбицкий // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – №4. – С. 41-44

Рецензія/Peer review : 20.8.2016 р.

Надрукована/Printed : 31.8.2016 р.

Рецензент: д.т.н. Троцишин І. В.

УДК 621.314.632

С.Н. БОЙКО, С.Я. ВИШНЕВСКИЙ

Кременчужский национальный университет имени М. Остроградского

Д.А. МИХАЙЛИЧЕНКО

Винницкий национальный технический университет

МОДЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОДНОФАЗНОГО ИНВЕРТОРА ПРИ РАЗНЫХ ЗАКОНАХ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ

При проектировании электротехнических и электромеханических комплексов с использованием преобразователей частоты необходимо учитывать степень влияния последних на показатели электромагнитной совместимости потребителя электрической энергии в целом.

Сделать аргументированный выбор структуры и алгоритма управления инвертором позволит оценка гармонического состава выходных параметров инвертора при различных законах широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

В статье приведены результаты моделирования форм кривых тока и напряжения IGBT-инвертора в функции ряда различных алгоритмов управления при ШИМ. Исследованы наиболее реализуемые варианты модуляции: с прямоугольной и трапецидальной формами кривых тока (напряжения). Оценены варианты и показаны преимущества трапецидального закона в отличие от других.

Ключевые слова: инвертор напряжения, гармонический состав тока и напряжения.

S.M. BOYKO, S.Y. VYSHNEVSKY

Kremenchuk National University named after Michael Ostrogradskiy

D.A. MYHAJLYCHENKO

Vinnytsia National Technical University

MODEL ANALYSIS OF HARMONIC OUTPUT PARAMETERS SINGLE-PHASE INVERTER IN DIFFERENT LAWS PULSE WIDTH MODULATION

In the design of electrical and electromechanical systems with the use of frequency converters is necessary to take into account the degree of influence of the latter on the electromagnetic compatibility of electric energy consumers in general.

Make a reasoned choice of the structure and the inverter control algorithm will allow the evaluation of the harmonic content of the output of the inverter parameters for different types of pulse-width modulation (PWM).

The results of the simulation waveforms of current and voltage IGBT-inverter in a number of different functions under the PWM control algorithm. We studied the most realizable modulation options: rectangular and trapezoidal shape of the curve of current (voltage). Evaluate options and the advantages of the keystone of the law as opposed to the other.

Keywords: voltage inverter, the harmonic structure of current and voltage.

Введение

При эксплуатации электротехнических и электромеханических комплексов с использованием преобразователей частоты последние, в силу естественного искажения форм кривых тока и напряжения, как правило, отрицательно влияют на энергетические показатели как самого привода так и системы электропитания в целом [1, 2].

Основными способами улучшения электромагнитной совместимости таких устройств является применение различных фильтров и законов управления силовыми модулями, входящими в состав преобразовательных устройств.

Актуальность направления исследований

Одной из обязательных задач, подлежащих решению для успешной реализации в практику создания электромеханических комплексов вида преобразователей частоты – асинхронных двигателей (ПЧ-АД) является правильный выбор алгоритма формирования выходных параметров – тока, напряжения преобразователя (инвертора) [1].

Поэтому разработка структуры – такого алгоритма формирования формы кривой тока при широтно-импульсной модуляции (ШИМ) IGBT-инвертора для конкретной электротехнической системы с известными параметрами является вопросом актуальным [2].

Эта актуальность еще более значима для тяговых электромеханических комплексов (ТЭМК) в силу специфики требований к ним и условий эксплуатации [3]. В частности, с целью повышения эффективности функционирования ТЭМК [3] конструктора, как правило, повышают частоту коммутации IGBT транзисторов. Этот факт, как ровно и другие, требуют дополнительных исследований.

Цель работы. Исследование коэффициента гармоник выходных форм тока и напряжения однофазного IGBT-инвертора при прямоугольной, трапецидальной и синусоидальной ШИМ с выходной частотой 100 Гц.

Материалы и результаты исследования

Для исследования гармонического состава тока и напряжения IGBT-инвертора авторами использовалась модель, построенная в программном пакете Матлаб и имеющая вид [4] (рис. 1):

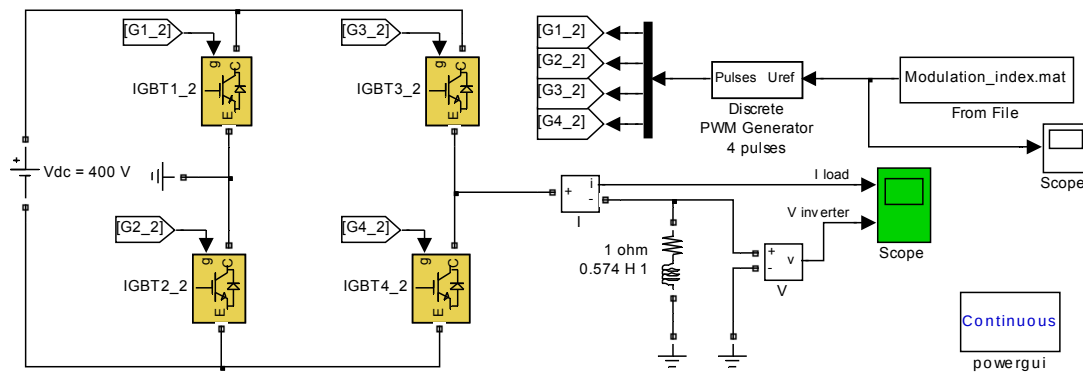


Рис. 1. Схема модели для исследования работы в однофазном реверсивном инверторе

Здесь IGBT1_2... IGBT4_2 – одиночные IGB-транзисторы, включенные по реверсивной схеме с питанием от источника постоянного напряжения 400 В. Discrete PWM Generator 4 pulses осуществляет формирование управляющих импульсов на IGB-транзисторах в соответствии с управляющим входным модулирующим сигналом, снимаемым с блока Modulation_index.mat. В этом блоке извне по отношению к рассматриваемой модели Матлаб формируется та или иная зависимость коэффициента модуляции от времени. Последовательно соединенные активное и индуктивное сопротивления формируют собой нагрузку с заданным $\cos\varphi=0.866$. Измерительные преобразователи I и V обеспечивают визуализацию процессов тока и напряжения на осциллографе Scope.

Рассмотрим три возможных и наиболее реализуемых варианта модуляции ШИП: 1) с прямоугольной формой напряжения частотой 100 Гц; 2) с трапецидальной формой напряжения с коэффициентом модуляции равным 0.95, что обеспечивает на выходе ШИМ-напряжение с максимальной амплитудой на выходе; 3) с трапецидальной формой напряжения с коэффициентом модуляции равным 0.5, что обеспечивает на выходе ШИМ-напряжение с половинной амплитудой на выходе. Частота модуляции в двух последних вариантах составляет 2.4 кГц. Во всех случаях в трапецидальном напряжении время нарастания, спада и постоянной величины равны между собой, как это показано на рисунке 2:

Нагрузка инвертора активно-индуктивная, с углом нагрузки $\cos\varphi \approx 0,866$. При величинах активного и индуктивного сопротивлений нагрузки $R = 1$ Ом и $L = 0.574$ Гн мы получим требуемое значение:

$$\cos\varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + L^2}} = \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.574^2}} \approx 0.866$$

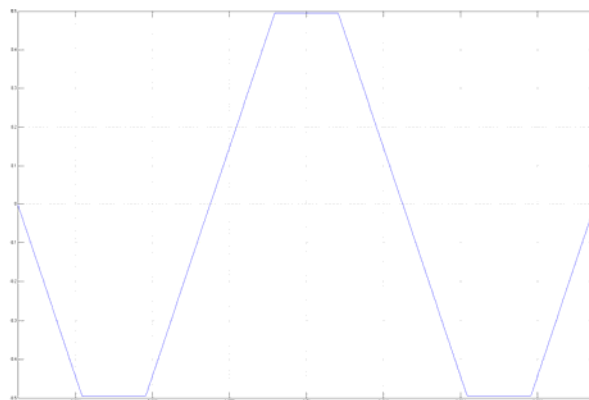


Рис. 2. График трапецидального сигнала управления инвертором

Исследование показателей работы инвертора при прямоугольном выходном напряжении. При моделировании этого варианта с помощью модели рисунок 1 были получены следующие графики выходных тока и напряжения инвертора:

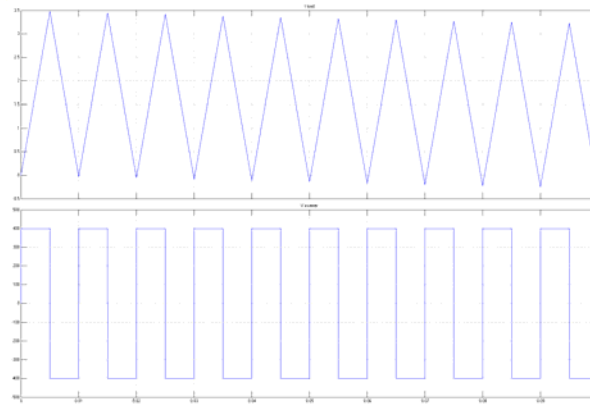


Рис. 3. Графики выходных тока и напряжения инвертора при «прямоугольной» коммутации транзисторов

Для того чтобы оценить гармонический состав тока и напряжения на выходе инвертора, используется графический интерфейс пользователя powergui. Если кликнуть два раза по блоку powergui, то откроется окно инструментария с вертикально расположенным рядом кнопок, среди которых выберем интересующую нас кнопку FFT Analysis (FFT – Fast Fourier Transformation – Быстрое Преобразование Фурье). Нажав на указанную кнопку, получим окно, изображённое на рисунке 4.

В этом окне сверху располагается график, который надо проанализировать на гармонический состав, снизу – результат анализа быстрого преобразования Фурье – график с гармониками, на котором по оси абсцисс отложена частота, по оси ординат – амплитуда гармоники.

Для получения результатов FFT следует произвести предварительную настройку. Так, в FFT windows указывается начальное время (0 с) и число полных периодов (в нашем случае мы приняли 10) а также частота исследуемого сигнала (в нашем случае было заведомо известно, что 100 Гц), в Available signals в среднем окне Input выбирается исследуемый сигнал (либо ток – I inverter, либо напряжение – V inverter). В FFT setting в Display style выбирается вид представления полученного быстрого преобразования Фурье: либо в виде графиков, либо в виде таблиц, либо в абсолютных, либо относительных единицах, в Frequency axes выбирается либо абсолютные значения полученных гармоник, либо их номер, в Max Frequency (Hz) указывается максимальная интересующая нас частота гармоники. При той конфигурации настройки, что показана на рисунке 3, мы получим в кривой напряжения следующие гармоники (таблица 1).

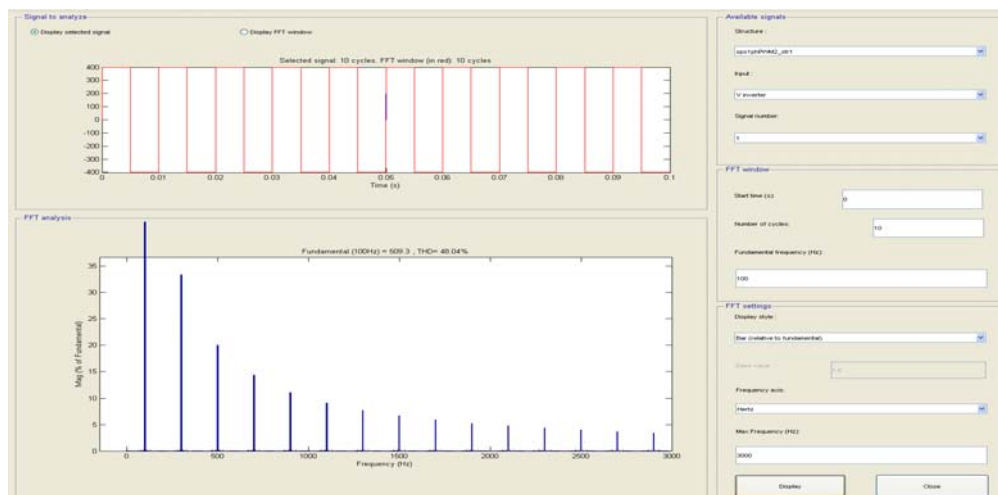


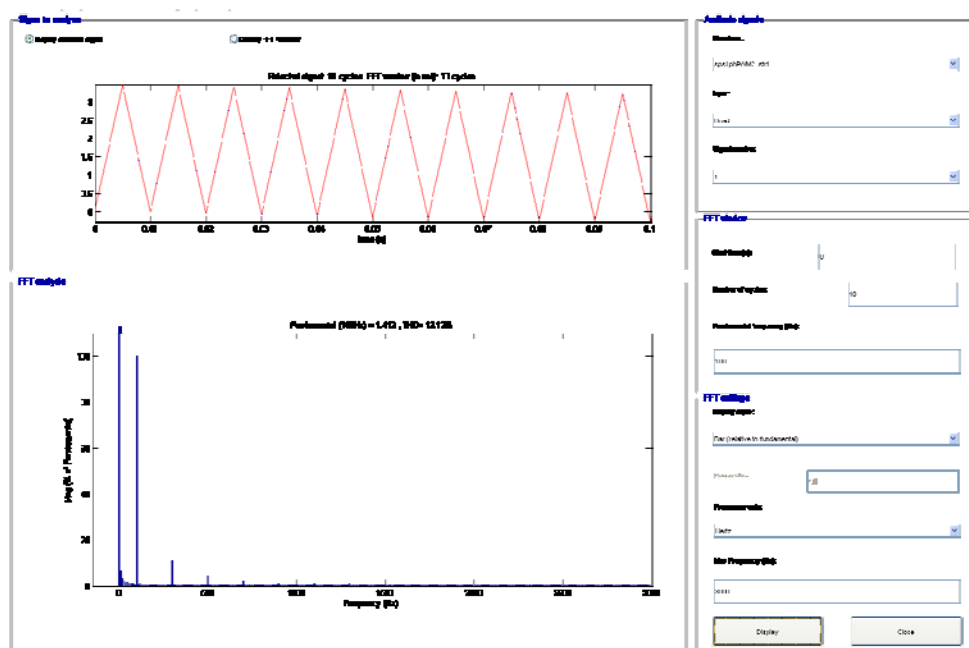
Рис. 4. Окно быстрого преобразования Фурье для графика напряжения при прямоугольной форме напряжения

Таблица 1

100 Гц	100 %	1500 Гц	6,66%
300 Гц	33,33 %	1700 Гц	5,87%
500 Гц	20%	1900 Гц	5,25%
700 Гц	14,28%	2100 Гц	4,75%
900 Гц	11,11%	2300 Гц	4,34%
1100 Гц	9,09%	2500 Гц	3,99%
1300 Гц	7,69%	2700 Гц	3,69%
		2900 Гц	3,43%

Здесь 1-я гармоника на частоте 100 Гц имеет амплитуду 509,3 В. Следует отметить также показатель THD – Total Harmonic Distortion – коэффициент гармоник. Здесь он составляет величину THD =

Для графика выходного тока инвертора результат FFT будет выглядеть следующим образом (рис. 10.10).



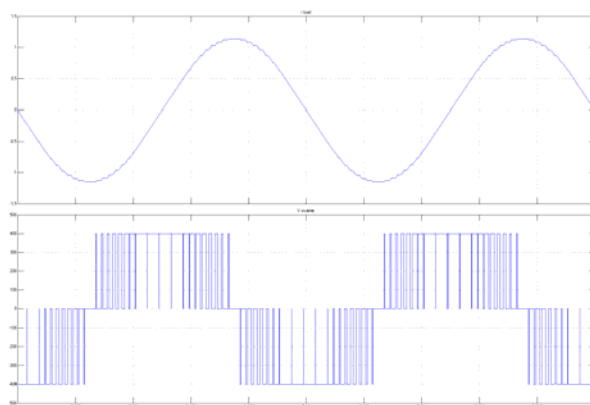
Соответственно, в кривой тока будут иметься следующие гармоники (таблица 2):

100 Гц	100 %	700 Гц	2,04%
300 Гц	11,11 %	900 Гц	1,23%
500 Гц	4%	1100 Гц	0,83%

Таблица 2

Исследование показателей работы инвертора при ШИМ с коэффициентом модуляции 0.95.

На модели рисунок 1 получим также результаты моделирования при коэффициенте модуляции 0.95,



Как следует из рисунка 6, 1-я гармоника на частоте 100 Гц имеет амплитуду 414.7 В, а также кривая напряжения имеет приведенные в таблице 3 гармоники.

Таблиця 3

100 Гц	100 %	1100 Гц	0,68%
300 Гц	0.25 %	1500 Гц	0,26%
500 Гц	3,71%	1900 Гц	0,26%;
700 Гц	1,97%	2100 Гц	0,50%;
900 Гц	0.37%	2300 Гц	0,71%.

Коэффициент гармоник THD тут составляет довольно значительную величину – 45.93%.

На рисунке 8 приведены результаты преобразования Фурье для сигнала тока с коэффициентом модуляции 0.95.

Соответственно, в кривой тока будут иметься следующие гармоники:

Таблиця 4

100 Гц	100 %	700 Гц	0,28%
300 Гц	0,08%	900 Гц	0.37%
500 Гц	0,75%	1100 Гц	0,06%

1-я гармоника на частоте 100 Гц имеет амплитуду 1,149 А.

Коэффициент гармоник для тока THD = 1,12%.

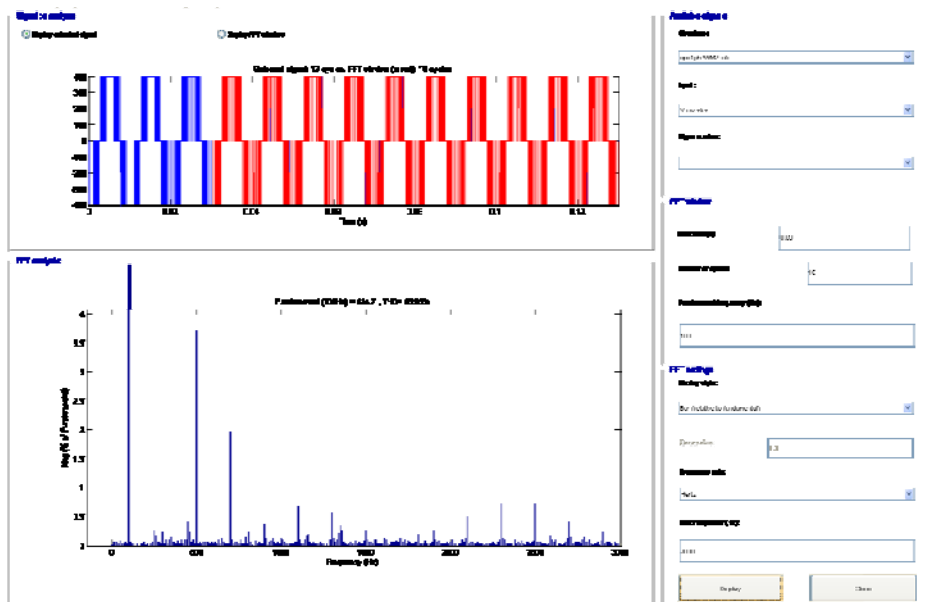


Рис. 7. Окно быстрого преобразования Фурье для графика напряжения ШИМ с коэффициентом модуляции 0,95

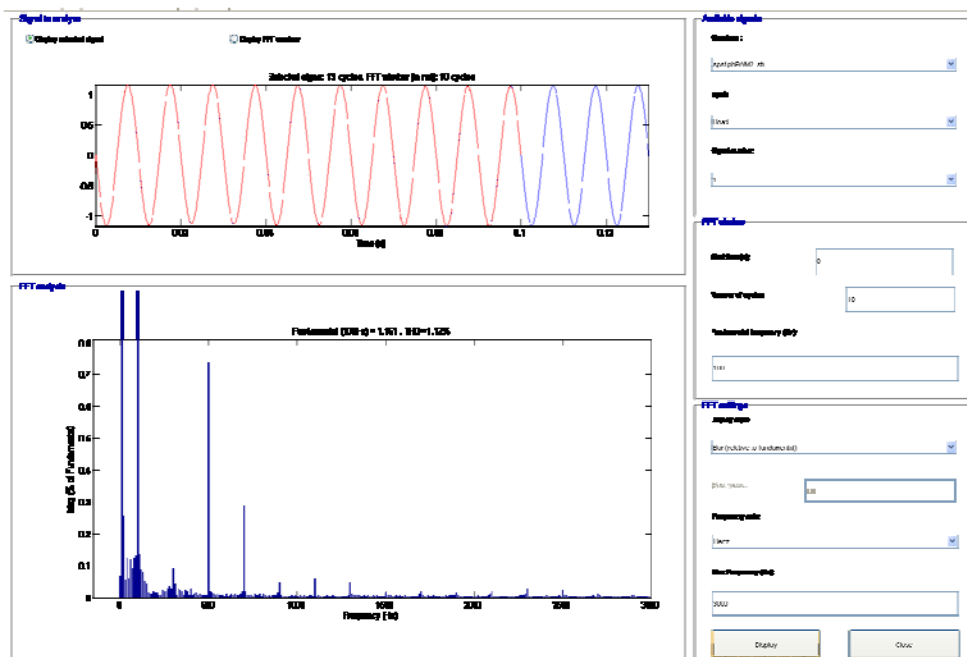


Рис. 8. Окно быстрого преобразования Фурье для графика тока при ШИМ с коэффициентом модуляции 0,95

Исследование показателей работы инвертора при ШИМ с коэффициентом модуляции 0.5.

На модели рисунок 1 получим также результаты моделирования при коэффициенте модуляции 0.5, отраженные на рисунке 9.

Коэффициент гармоник для графика напряжения при ШИМ с коэффициентом модуляции 0,5 THD = 118,11%.

Ниже (рисунок 10) приведены результаты быстрого преобразования Фурье для сигнала напряжения с коэффициентом модуляции 0.5.

Для этого графика состав гармоник будет следующим:

Таблица 5

100 Гц	100 %	1500 Гц	1,43%
500 Гц	3,94%	2100 Гц	1.22%;
700 Гц	1,76%	2170 Гц	1.16%.
1100 Гц	1.41%		

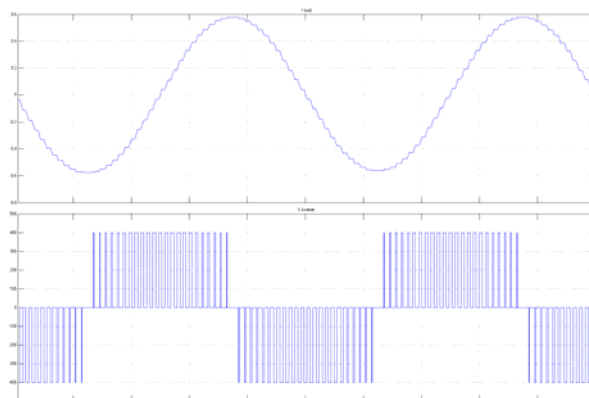


Рис. 9. Графики тока и напряжения при ШИМ с коэффициентом модуляции 0,95

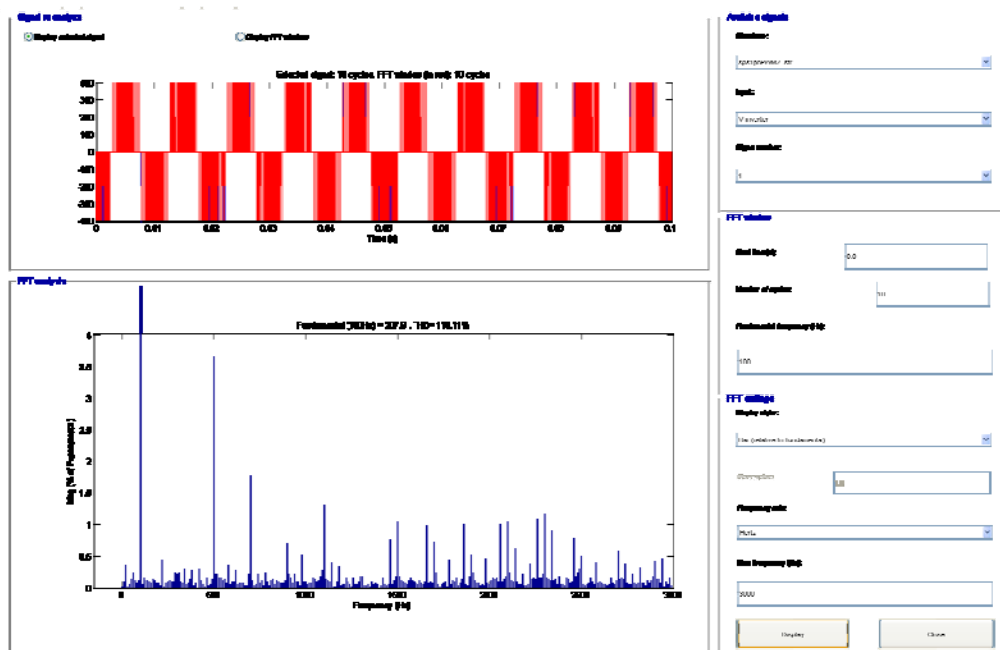


Рис. 10. Окно быстрого преобразования Фурье для графика напряжения при ШИМ с коэффициентом модуляции 0,5

Ниже приведены результаты быстрого преобразования Фурье для сигнала напряжения с коэффициентом модуляции 0.5.

Состав гармоник для графика тока показан в таблице 6.

Коэффициент гармоник для графика тока при ШИМ с коэффициентом модуляции 0,5 THD = 2,28%

Таблица 6

100 Гц	100 %	1100 Гц	0,12%
500 Гц	0,79%	1500 Гц	0,09%
700 Гц	0,25%	2100 Гц	0,06%

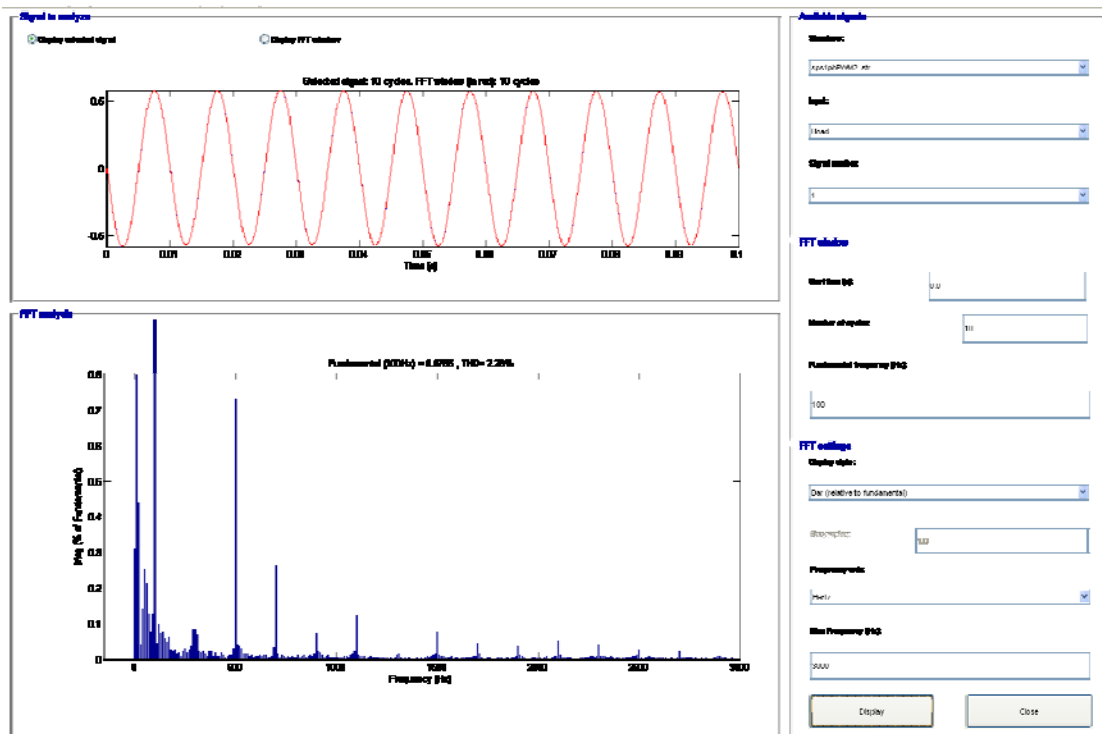


Рис. 11. Окно быстрого преобразования Фурье для графика тока при ШИМ с коэффициентом модуляции 0,5

Выводы

Если судить по коэффициенту гармоник для кривой напряжения, то работа инвертора с ШИМ с коэффициентом модуляции 0,5 является наихудшим режимом, так как $\text{THD} = 118,11\%$ более чем в 2 раза больше, чем $\text{THD} = 48,04\%$ для прямоугольного выходного напряжения и $\text{THD} = 45,93\%$ для выходного напряжения инвертора с коэффициентом модуляции 0,95. Однако, учитывая, что рассматривается работа инвертора напряжения на высокоинерционную нагрузку (например, на обмотку возбуждения синхронного двигателя), то большее значение имеют гармоники в кривой тока, так как в основном обмотки возбуждения промышленных двигателей выполняется на массивных роторах, что обуславливает повышенные потери от вихревых токов. Так, наилучшим по гармоническому составу графика тока является вариант ШИМ с коэффициентом модуляции 0,95 ($\text{THD} = 1,12\%$) против варианта ШИМ с коэффициентом модуляции 0,5 ($\text{THD} = 2,28\%$) и тем более варианта с прямоугольным выходным напряжением ($\text{THD} = 12,12\%$). Если отбросить все гармоники с амплитудой менее 1% от амплитуды основной гармоники, то в кривых тока с коэффициентами модуляции 0,95 и 0,5 можно учитывать только основную гармонику с частотой 100 Гц, при том, что в кривой тока в прямоугольном варианте выходного напряжения инвертора имеются гармоники с частотами 100, 300, 500, 700, 900 Гц.

Как количественно влияют на потери от вихревых токов в массивных сердечниках гармоники амплитудой менее 1% от основной гармоники – неизвестно, но в первом приближении можно утверждать, что для питания обмоток возбуждения синхронных двигателей прямоугольное напряжение является гораздо более неблагоприятным вариантом, чем питание трапецидальным напряжением с любым коэффициентом модуляции.

Литература

1. Шидловский А.К. Транзисторные преобразователи с улучшенной электромагнитной совместимостью / А.К. Шидловский, А.В. Козлов, Н.С. Комаров, Г.А. Москаленко. – К. : «Наукова думка», 1993. – 272 с.
2. Полупроводниковые преобразователи электрической энергии в структурах электроприводов. Схемотехника и принципы управления : учебное пособие / [И.О. Синчук, А.А. Чернышев, И.И. Киба, О.В. Пасько, О.Е. Ключка, О.Е. Мельник] / под ред. Синчука О.Н. – Кременчуг : Вид. Щербатих О.В., 2008. – 88 с.
3. Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых электроприводов рудничных электровозов : научное издание / О.Н. Синчук, И.О. Синчук, Н.Н. Юрченко, А.А. Чернышов, О.А. Удовенко, О.В. Пасько, Э.С. Гузов. – Киев : ІЕДНАНУ, 2006. – 252 с.
4. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р.Т. Шрейнер. – Екатеринбург : УРО РАН, 2000. – 654 с.
5. Пусковые системы нерегулируемых электроприводов : монография / Черный А.П., Гладарь А.И., Осадчук Ю.Г., Курбанов И.Р., Вошун А.Н. – Кременчуг : ЧП Щербатих А.В., 2006. – 280 с.
6. Tihanyi L. EMC in Power Electronics / L. Tihanyi. – N.Y. : IEEE Press, 1995. – 402 с.

-
7. Електроніка і мікросхемотехніка : у 4 т. Том 4 : Силова електроніка : підручник / В.І. Сенько, М.В. Панасенко, Є.В. Сенько, М.М. Юрченко, Л.І. Сенько, В.В. Ясінський / за ред. В.І. Сенька. – К. : Каравела, 2013. – 956 с.
8. Терехов В.М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В.М. Терехов, И.О. Осипов. – М. : Изд. центр «Академия», 2006. – 680 с.
9. Ключев В.И. Теория электропривода : учебник для вузов / Ключев В.И. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
10. Вейнгер А.М. Регулируемый синхронный электропривод / Вейнгер А.М. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 224 с.
11. Синчук О.Н. Моделирование пуска неявнополусного синхронного электрического двигателя / О.Н. Синчук, В.Ю. Захаров, Д.А. Михайличенко // Електротехнічні та комп'ютерні системи : науково-технічний журнал. – К. : Техніка, 2012. – Вип. 08(84). – С. 24–30.
12. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р.Т. Шрейнер. – Екатеринбург : УРО РАН, 2000. – 654 с.

Рецензія/Peer review : 17.8.2016 р.

Надрукована/Printed : 26.8.2016 р.

Рецензент: д.т.н. Сінчук О. М.

МЕТОДИ БАГАТОСТАНЦІЙНОГО ДОСТУПУ

Досягнуто збільшення зони обслуговування, пропускної здатності і більш високу якість передачі даних. Таким чином, необхідне більш ефективніше використання наданого радіочастотного спектру. За допомогою запропонованих методів збільшено пропускну здатність радіосистеми, особливо при повторному використанні частот з високими коефіцієнтами повторення. Чим менше стільник, тим більш ефективно використовується радіочастотний спектр.

Ключові слова: багатостанційний доступ, пропускну здатність, спектр, частота.

A.A. YAREMENKO, I.V. TROTSYSHYN

Odessa National Academy of Telecommunications n.a. O.S. Popov

METHODS OF MULTISTATIONAL ACCESS

An increase in the coverage area, bandwidth and higher quality data transfer was achieved by the authors. So we need more efficient use of radio frequency spectrum. With the help of the proposed methods bandwidth of radio system was increased, especially during re-use of frequencies with high rates of recurrence. The smaller the cell is, the more effectively the radio frequency spectrum is used.

Key words: multistational accession, bandwidth, spectrum, frequency.

Вступ. З ростом збільшення попиту на мобільний зв'язок, виникає необхідність у збільшенні зони обслуговування, пропускної здатності і більш високій якості передачі даних. Таким чином, необхідно більш ефективно використовувати наданий радіочастотний спектр.

Постановка задачі. У зв'язку зі збільшенням служб та абонентів, рішення проблеми пропускної здатності завжди стоїть гостро. З самого початку розвитку мобільних систем розробники знали, що проблема пропускної здатності залежить від кількості виділених каналів або частот. Отже, для надання послуг великій кількості абонентів було потрібне використання стільникової мережі. Кожний стільник має свою власну базову станцію, забезпечуючи своєю пропускну здатністю необхідну кількість абонентів, з використанням малопотужних сигналів. Побудова мережі за стільниковим принципом збільшує пропускну здатність радіосистеми, особливо при повторному використанні частот з високими коефіцієнтами повторення. Чим менше стільник, тим більш ефективно використовується радіочастотний спектр, але, відповідно, збільшується вартість системи, так як необхідна більша кількість базових станцій.

Основна ідея стільникової мережі полягала у подоланні обмежень пропускної здатності, але цей принцип не допомагає зняти обмеження всередині кожного стільника при одночасних викликах. Тому для рішення проблеми розподілу радіочастотного ресурсу в одному стільнику були розроблені методи багатостанційного доступу [2]. Розрізняють декілька основних методів багатостанційного доступу:

- FDMA (Frequency Code Division Multiple Access) — багатостанційний доступ з частотним поділом каналів (термін "багатостанційний доступ", "множинний доступ", "multiple access" позначає такий режим роботи базової станції, який дозволяє декільком мобільним станціям одночасно взаємодіяти з нею — "отримувати до неї доступ"). Всі перші аналогові стільникові стандарти (покоління 1G) базувалися на методі FDMA, найбільш поширені з них AMPS (ширина каналу 30 кГц) і NMT-450 (ширина каналу 25/20 кГц). Після встановлення з'єднання вся відповідна каналу смуга частот використовується тільки для обслуговування одного з'єднання. Будь-яке спільне застосування однієї смуги частот одночасно неможливо. Іншими словами, система використовує тільки фізичні канали і не утворює логічних каналів. Ємність стільника в даному випадку визначається тим, скільки частотних каналів (радіотракт) буде розміщено в частотній смузі, виділеній цьому стільнику. Слід також зазначити, що як базові, так і мобільні станції FDMA-систем хоча і працюють з повністю аналоговим розмовним сигналом на всіх етапах його передачі та обробки, мають цифрове управління і обмінюються службовою інформацією по керуючому каналу в цифровому вигляді. Тому апаратуру стільникового мобільного зв'язку першого покоління іноді називають аналогово-цифровою за аналогією з апаратурою аналогово-цифрових транкінгових мереж.

- TDMA (Time Division Multiple Access) — багатостанційний доступ з часовим поділом каналів. Весь діапазон частот, виділений для даного стільника, спочатку підрозділяється на певну кількість несучих частот (радіотракт, частотних каналів), після чого кожна з несучих розбивається на кілька часових логічних каналів або таймслотів (у стандарті GSM 900 — 8 таймслотів). Один з цих таймслотів є службовим (сигнальним, керуючим), а решта використовуються для передачі голосової інформації. Іншими словами, сеанс зв'язку для кожного абонента розбивається на безліч невеликих тимчасових інтервалів, які і передаються по черзі на одній частоті. Мова оцифровується і розбивається на окремі пакети, система передає на одній частоті частину розмови (пакет) одного абонента, потім — частину розмови іншого і так далі. Передавши частину розмови останнього абонента з числа працюючих на даній частоті, система повертається до першого абоненту і весь цикл повторюється. За рахунок того, що передача відбувається в оцифрованому вигляді з компресією, а перемикання каналів відбувається дуже швидко, на приймальному кінці при перекладі сигналу з цифрової в аналогову форму мову можливо відновити з окремих пакетів в

режимі реального часу, при цьому абонент нічого не помічає.

Системи, що працюють за методом TDMA, є повністю цифровими, як в частині обробки і передачі сигналу, так і в частині управління.

- CDMA (Code Division Multiple Access) — багатостанційний доступ з кодовим поділом каналів. Як і метод TDMA, CDMA увазі обробку та передачу голосової інформації тільки в цифровому вигляді. В основі методу лежить давно застосовуваний у військовій радіозв'язку метод модуляції з використанням шумоподібного або широкосмугового сигналу (spread spectrum — розмитий спектр). Корисний сигнал як би розмивається по частотному діапазону, істотно більш широкого, ніж при традиційних способах модуляції. Здійснюється це шляхом перемноження послідовності корисних бітів інформації на псевдовипадкову послідовність більш коротких імпульсів. В результаті виходить так званий псевдошумовий сигнал, який займає більший частотний спектр і має значно меншу інтенсивність, ніж при вузькосмуговій модуляції. Всі псевдошумові сигнали випромінюються в одному і тому ж широкосмуговому частотному каналі. Прийняти інформацію можливо тільки в тому випадку, якщо відома послідовність, на яку був помножити корисний сигнал при передачі, інакше він буде сприйматися як шум. Таким чином, якщо кілька мобільних станцій в межах одного стільника працюють на загальній частоті, але з різними кодовими послідовностями, ці сигнали практично не створюватимуть перешкод один одному. Крім того, сторонні шуми, що наводяться в даному частотному каналі (завади різного походження), якщо тільки їх потужність не перевищуватиме потужності корисного сигналу, теж ніяк не впливатимуть на умови передачі. Отже, різко підвищується завадостійкість системи (широкосмуговий сигнал завжди дуже стійкий до вузькосмугових завад) і забезпечує значну перевагу в частині забезпечення секретності передачі.

Технологія CDMA 2000 використовує смугу частот в 1,25 МГц, що значно ширше, ніж при використанні методів FDMA і TDMA. Інформація кодується і розподіляється по всій смузі 1,25 МГц, яка може використовуватися як в суміжних стільниках, так і у всіх секторах кожного стільника. Код, присвоєний кожному виклику, дозволяє використовувати схему повторного використання частоти $N = 1$, забезпечуючи тим самим підвищену гнучкість при додаванні нових стільників по мірі зростання мережі без необхідності складного перепланування розподілу частот. Ці відмінності у використанні спектру дають технології CDMA величезну перевагу щодо пропускної здатності.

До переваг методу CDMA можна віднести і ще кілька його властивостей. Поширюючись на ділянці базової мобільної станції, радіосигнал багаторазово перевидбивається від перешкод і в результаті інтерференції сигналів, що пройшли різні шляхи, інтенсивність прийнятого сигналу постійно змінюється. Це явище носить назву федінга (fading). Всі системи мобільного зв'язку, засновані на інших методах, для забезпечення безперервного з'єднання в умовах федінга підтримують дещо завищений, ніж це необхідно, рівень потужності передачі (дане твердження справедливо відносно як мобільного, так і базової станції). Такий підхід дозволяє уникнути обриву з'єднання в моменти, коли мобільна станція відчуває миттєві падіння співвідношення "сигнал/шум". У результаті загальний завищений рівень потужності підвищує рівень шуму в системі і непродуктивно витрачається частина енергії батареї мобільної станції. Під час переходу мобільної станції із зони покриття одного стільника в інший методи FDMA і TDMA припускають її естафетну передачу з так званим жорстким перемиканням (hard handoff або break before make), при якому спочатку розривається зв'язок з попереднього стільника, і тільки після цього встановлюється зв'язок з новим. Технологія CDMA в даному випадку за рахунок використання в сусідніх стільниках однієї і тієї ж несучої частоти дозволяє виконувати естафетну передачу з м'яким перемиканням (soft handoff або make before break). Мобільна станція CDMA спочатку встановлює зв'язок з базовою станцією, в зону дії якої вона входить, і тільки після цього звільняє канал у залишаємому стільнику. Якщо при жорсткому перемиканні зв'язок на мить пропадає (при несприятливих умовах вона навіть може бути перерваний), то при м'якому перемиканні абонент просто нічого не помічає. При русі в автомобілі з досить великою швидкістю в умовах великого міста (тобто при частому перетині кордонів стільників) вже одне це значно підвищує якість зв'язку.

- SDMA (Space Division Multiple Access) — багатостанційний доступ з просторовим розділенням каналів [3]. SDMA доступ використовує напрямок (кут) в якості просторового виміру в сигнальному просторі, яке може бути розподілено на канали і розподілено між різними користувачами. Зазвичай це реалізується за допомогою багатоеlementних антен (рис. 1.1). Ортогональні канали утворюються тільки у тому разі, якщо кутове рознесення між абонентами перевищує кутову розрішення спрямованої антени. Якщо спрямованість досягається за допомогою антенної решітки, то для точного

кутового розрішення необхідна велика решітка, що може бути не практичним для використання на базових станціях і, тим паче, нездійсненно для мініатюрних терміналів користувачів. На практиці SDMA часто реалізується з використанням секторних антенних решіток. В цих решітках кутовий діапазон в 360 градусів ділиться на N секторів.

При цьому забезпечується високий коефіцієнт спрямованої дії у кожному секторі та незначні завади між секторами. Для розподілення каналів між абонентами всередині сектору використовують TDMA та FDMA. При роботі з мобільними абонентами схема SDMA повинна адаптуватися до зміни кута, під яким ведеться обмін сигналами з абонентами, а якщо спрямованість досягається за допомогою секторних антен, то повинна бути передбачена передача обслуговування з сектора в сектор при переміщенні абонента.

- OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) — базується на використанні OFDM модуляції [4] і представляє собою комбінацію FDMA/TDMA.

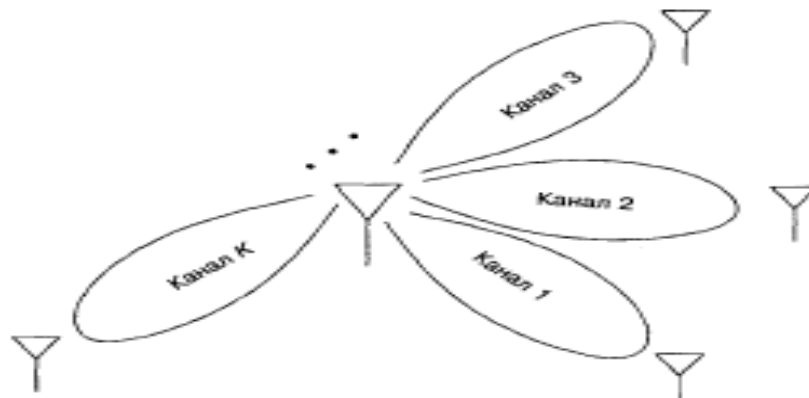


Рис. 1. Принцип розділення каналів SDMA

Користувачам системи для передачі виділяються логічні субканали на ортогональних піднесійних OFDM (рис. 1.2). Кількість піднесійних, яка виділяється на визначений логічний субканал, залежить від необхідної швидкості передачі інформації, характеристик радіоканалу, кількості обслуговуваних системою користувачів та необхідної якості. Для зменшення впливання частотної селективності каналу ці несійні псевдовипадковим чином розподіляються по всій робочій полосі. Користувачу виділяється один або декілька логічних субканалів. З метою адаптації до характеристик радіоканалу та інформаційних потреб користувачів вид модуляції, параметри коректувального кода та потужність передачі в різних субканалах може змінюватися.

Кількість піднесійних при OFDMA може бути як сталою, так і змінною. Наприклад в «фіксованому» WiMAX (IEEE 802.16d) використовується 2048 піднесійних. В мобільній версії 802.16e виконаний варіант OFDMA зі змінною кількістю піднесійних (від 128 до 2048) [4].

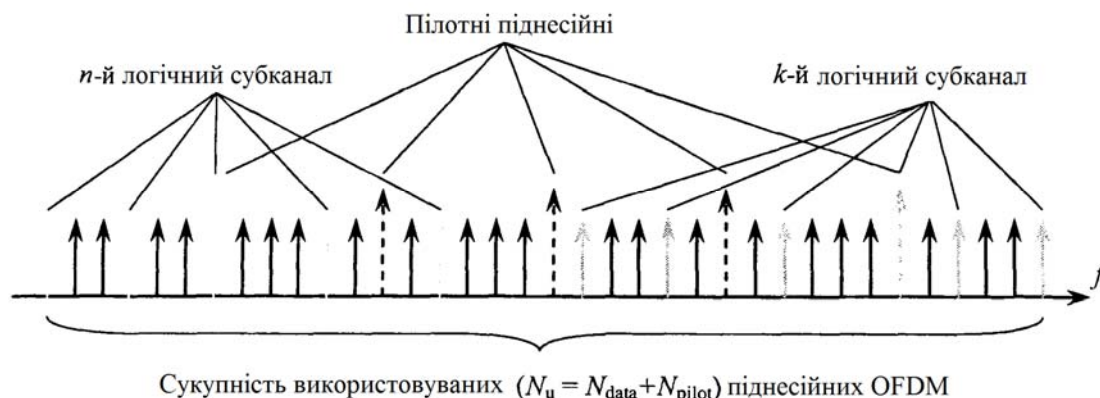


Рис. 2. Частотна структура каналу OFDMA

Розв'язання поставлених задач

Розвиток методів багатостанційного доступу заснований на використанні технологій просторового та поляризаційного рознесення, а також об'єднання традиційних технологій частотного, часового та кодового розділення.

Сучасні методи ефективного використання радіочастотного ресурсу (при збереженні, і навіть збільшенні пропускної спроможності радіоканалу) засновані на використанні антенних решіток, за допомогою яких реалізується як багатостанційний доступ, так і рознесений прийом.

До основних напрямків подальших досліджень можливо віднести:

- аналіз та узагальнення наукових результатів та існуючих напрацювань в області методів формування спрямованого випромінювання, управління характеристиками спрямованості та поляризаційними властивостями антенних решіток;
- вибір та обґрунтування елементу антенної решітки з метою формування оптимальної поляризаційної структури, розрахунок його геометричних та електродинамічних параметрів та характеристик;
- розробка адаптивної антенної решітки та дослідження її характеристик.

Висновки. В низхідному напрямку логічні потоки даних, що трансформуються в субканали, формують єдине вікно швидкого перетворення Фур'є для мультиплексування даних, а в висхідному — з метою організації багатостанційного доступу.

Таким чином, розвиток методів багатостанційного доступу заснований на використанні технологій просторового та поляризаційного рознесення, а також об'єднання традиційних технологій частотного, часового та кодового розділення.

Література

1. Голдсмит А. Беспроводные коммуникации / Голдсмит А. – М. : Техносфера, 2011. – 904 с.
2. Современные беспроводные сети: состояния и перспективы развития / [Гепко И.А., Олейник В.Ф., Чайка Ю.Д., Бондаренко А.В.]. – К. : «ЕКМО», 2009. – 672 с.
3. Определение использования радиочастотного спектра и эффективности радиосистемы : рекомендация МСЭ-R SM.1046-2 / Международный союз электросвязи [Электронный ресурс]. – Женева, 2011. – Режим доступа : <https://www.itu.int/.../itu-r/.../sm/R-REC-SM.1046-2-200605...>
4. Методы разнесения для систем фиксированной беспроводной связи из пункта в пункт : рекомендация МСЭ-R F.752-2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.752-2-200605-I!!PDF-R.pdf
5. Влияние многолучевости распространения радиоволн на проектирование и работу цифровых систем фиксированной беспроводной связи прямой видимости : рекомендация МСЭ-R F.1093-2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.1093-2-200604-I!!PDF-R.pdf
6. General principles and methods for sharing between radio services. Recommendation ITU-R SM.1132. 1995 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.itu.int/rec/R-REC-SM.1132-0-199510-S/en>

Рецензія/Peer review : 17.8.2016 р.

Надрукована/Printed : 26.8.2016 р.

Рецензент: стаття прорецензована редколлегією

Н.І. УПРОВА, А.М. СЛІЗКОВ

Київський національний університет технологій та дизайну

Т.В. ХИЛЬКЕВИЧ, Т.Ф. ХАРЧЕНКО, А.М. СТРОЙ

ДП «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя»

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ ПЕСТИЦИДАМИ ПРОДУКЦІЇ ТЕКСТИЛЬНОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

У статті проаналізовано літературні джерела, розглянуто проблеми надходження пестицидів у продукцію текстильної і легкої промисловості на різних етапах виробничого процесу та шляхи зменшення рівнів їх вмісту, визначено невідповідності у підходах до контролю вмісту пестицидів у вітчизняних та міжнародних нормативних документах.

Ключові слова: текстиль, продукція, екологія, пестициди, сертифікація.

N.I. UPIROVA, A.M. SLIZKOV

Kyiv National University of Technologies and Design

T.V. KHYLKEVYCH, T.F. KHARCHENKO, A.M. STROI

«L.I. Medved's research center of preventive toxicology, food and chemical safety» (State enterprise)

URGENCY OF PESTICIDE POLLUTION ISSUE OF TEXTILE AND LIGHT INDUSTRY PRODUCTION

The article analyzes the sources of literature. The problems of pesticide penetration into textile and light industry production at multiple levels of process flows and ways of reducing the content of pesticides are considered in the article. The article outlined the disparity of approaches to the content of pesticides according to Ukrainian and international regulatory documents.

Key words: textile, production, ecology, pesticides, certification.

Вступ

Пестициди належать до техногенних хімічних речовин, які займають одне з провідних місць в процесах забруднення більшості екосистем планети. Крім того, пестициди мають потенційні властивості втручатись у функціонування органів і систем живого організму та викликати неприємні, важкі і навіть незворотні для здоров'я людини наслідки – серйозні, невиліковні хвороби [1, 2, 3].

В якості пестицидів застосовується велика кількість різних речовин. Наприклад, пентахлорфенол (ПХФ) – ароматичний вуглеводень сімейства хлорфенолів, який вважається стійким органічним забруднювачем (СОЗ) та використовується в процесі десикації бавовнику, як фунгіцидний засіб, як підготовчий засіб для оздоблення, і, скоріше за все, ПХФ є головним «постачальником» суперекотоксикантів – диоксинів, вміст яких було встановлено в стічних водах текстильних підприємств [4–6]. Інший приклад – пестициди на основі дикофолу, що можуть містити до 34% дихлордифенілтрихлоретану (ДДТ), виробництво та використання якого в країнах ЄС заборонене, а в США скорочується з 2007 року [4]. У виробництві пестицидів можуть використовуватись аліфатичні аміни (деякі з яких можуть вступати в реакцію з нітратами і нітритами, утворюючи азотисті сполуки – канцерогени), а також миш'як (який, як відомо, є важким металом, тобто належить до основних неорганічних екотоксикантів) [7]. Саме тому у багатьох країнах Європи і світу проблемам наявності пестицидів та процесу контролювання їх вмісту у продукції харчової промисловості та товарах широкого вжитку приділяється велика увага.

Постановка задачі

Перспективи інтеграції України до світового ринкового простору обумовлюють необхідність вивчення стану проблеми наявності пестицидів у продукції текстильної та легкої промисловості. Крім того, актуальним є впровадження екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості, оскільки відсутність екологічного сертифікату, що відповідає міжнародним стандартам, істотно обмежує можливості виходу вітчизняної продукції на ринки Європейського Союзу та всього світу [8]. Отже, виявлення залишків пестицидів, які можуть потрапляти в рослині волокна (бавовняні, лляні, конопляні та ін.) в процесі їх вирощування та промислової переробки, стоїть в числі пріоритетних завдань екологічної експертизи на вітчизняному ринку екотекстилю [9]. Метою даної статті є аналіз літературних джерел і дослідження механізмів потрапляння та шляхів зменшення вмісту пестицидів у продукції текстильної та легкої промисловості.

Виклад основного матеріалу

Під час вирощування та збирання текстильних волокон рослинного походження часто застосовують різні мінеральні добрива та засоби боротьби зі шкідниками і хворобами, наприклад, відомо, що при вирощуванні бавовнику використовується 11% загального щорічного споживання пестицидів на планеті. Вовняне волокно також може містити пестициди, це пов'язано з умовами вирощування кормів [1, 10]. Пестициди можуть бути досить стійкими сполуками, не завжди повністю вилучаються з текстильних матеріалів та виробів на різних етапах технологічного процесу і довгий час можуть зберігатися в природній сировині (бавовні, льону, вовні) і навіть у виробленому одязі [11]. При експлуатації одягу, під впливом атмосферних факторів, механічних навантажень вони можуть «вимиватися» потовою рідиною на рівні «малих інтенсивностей». В результаті шкідливі речовини можуть поглинатися шляхом резорбції через

шкіряні покриття, при інгаляційному надходженні і безпосередньому впливі на шкіру та можуть стати причиною несприятливої біологічної дії на організм людини і викликати негативні біологічні ефекти (шкіро-подразнюючу, алергенну дію, віддалені ефекти) [1, 12–16].

Тому відсутність пестицидів та інших шкідливих речовин є важливим критерієм оцінки екологічної безпечності продукції текстильної та легкої промисловості з вмістом натуральних волокон.

В якості пестицидів застосовуються різні класи хімічних речовин, які відносяться до різних класів небезпеки – від небезпечних до практично нетоксичних. Використання небезпечних хімічних речовин заборонене або дуже обмежене, що зазначено в Стокгольмській та Роттердамській конвенціях [17, 18]. Стокгольмська конвенція була прийнята у 2001 році та вступила в силу в 2004 році. Від сторін, які її підписали, вона вимагає прийняття мір щодо управління та зниження СОЗ в навколишньому середовищі. На стан липня 2014 року Конвенцію підписали 152 країни світу, в тому числі і Україна. Реалізація Конвенції призведе до припинення виробництва та застосування СОЗ, запаси їх будуть ліквідовані, що призведе до запобігання надходження СОЗ в навколишнє середовище.

Для контролю за надходженням у текстильну продукцію з натуральних волокон надлишкової кількості пестицидів та інших шкідливих речовин застосовуються нормативні документи, які регламентують їх вміст та методи визначення. З метою уникнення або зменшення концентрації пестицидів та інших шкідливих речовин у матеріалах і готовій продукції текстильної та легкої промисловості необхідно ретельно перевіряти їх наявність на кожній із стадій виробництва і вчасно знімати з виробництва забруднену продукцію або змінювати реагенти та концентрацію для їх оброблення.

У світі існує багато національних та міждержавних сертифікаційних систем, які об'єднані у складі міжнародної організації Глобальна мережа екологічного маркування (GEN) та здійснюють оцінювання відповідності продукції за екологічними характеристиками згідно ISO 14024 (ДСТУ ISO 14024). Знак екологічного маркування GEN підтверджує те, що маркована ним продукція пройшла екологічну сертифікацію на відповідність вимогам вказаного ISO і має кращі екологічні характеристики у порівнянні з іншою представленою на ринку продукцією [19, 20].

Основним документом ЄС щодо еко-маркування усіх видів промислової продукції є Постанова Європейського Парламенту і Ради від 17.07.2000 р. №2000/1980 щодо схеми присудження права на еко-ярлик Співдружності та проектних критеріїв перевірок для надання права на таке маркування.

В розвиток даної Постанови розроблено документи на конкретні види продукції, зокрема щодо текстильних виробів – Рішення Комісії ЄС від 15.05.2002 р. № 2002/371/ЄС [1]. В документі перелічені критерії екологічності та якості, вказано або конкретні рівні тих чи інших речовин, або заборону на їх використання. Кожні п'ять років задекларовані у документі еко-критерії та їх рівень переглядають у бік підвищення вимогливості. Принциповим є те, що критерії екологічності та якості охоплюють широкий спектр аспектів і розповсюджуються на увесь технологічний ланцюжок виробництва, починаючи від волокон і закінчуючи утилізацією відходів: обмеження забруднення води і повітря в процесі виробництва волокон, обмеження використання шкідливих для екології та здоров'я людини речовин (барвників, замаслювачів тощо), гарантії низької усадки під час прання та сушіння і стійкості пофарбування до різних факторів. При цьому виробник або постачальник продукції сам декларує використання або невикористання тієї чи іншої сировини, речовини, барвників, тощо і лише низку показників оцінює незалежна сторона лабораторними методами із зазначенням конкретних методів випробування. Всі критерії поділено на три головні групи: щодо текстильних волокон; процесів та хімікатів; придатності до використання [1]. Критерії щодо текстильних волокон складаються з трьох частин для кожного конкретного виду волокон (акрилових, бавовняних, льняних, вовняних, поліамідних, поліуретанових, поліефірних, поліпропіленових, штучних-віскозних, ацетатних тощо), а також в частині обмеження шкідливих залишків у бавовняних і вовняних волокнах встановлює контроль вмісту низки відомих пестицидів [1, 21].

У ЄС для текстильної продукції існує міжнародна система перевірки, сертифікації та тестування в галузі екології Öko-Tex Standard, яка об'єднує інститути та їх представництва більш ніж у 50 країнах світу та містить 16 стандартів на гігієнічні вимоги до текстильних матеріалів різного призначення [4, 22].

На відміну від екологічних критеріїв і програм екологічного маркування згідно з ISO 14024, стандарт Öko-Tex Standard 100 не охоплює повний життєвий цикл продукції (наприклад, екологічні показники виробництва, пакувальні матеріали), але відносно показників якості та безпеки сировини і готового продукту він є найвимогливішим [23]. Оскільки не можна отримати екологічно чисту продукцію в екологічно несприятливих умовах, то прагнення виробника довести свою продукцію до рівня, який відповідає вимогам Öko-Tex Standard 100, змушує його втілювати заходи з екологізації технологій і виробництва в цілому [22]. Як наслідок, для сертифікації текстильної продукції знаком «Öko-Tex 100» повинні виконуватись екологічні вимоги на всіх стадіях її виробництва [24]:

- вирощування волокон і його первинна обробка;
- прядильне, ткацьке, трикотажне та неткане виробництва;
- опоряджувальне виробництво.

Для виключення вмісту шкідливих речовин та гарантування безпечності текстильних виробів для здоров'я людини контролююче товариство Öko-Tex працює з широкою номенклатурою критеріїв, яка містить більш ніж 100 показників, зокрема вміст пестицидів (алдрин, карборил, діелдрин, ендосульфат, ендрин, гептахлор, гептахлорепоксид, гексахлорбензол, гексахлорциклогексан, ліндан, метоксифлор, мірекс,

токсафен, трифлураїн, тощо) [23, 24].

В Україні розроблено гармонізований з Öko-Tex Standard 100 національний стандарт ДСТУ 4239:2003 «Матеріали та вироби текстильні і шкіряні побутового призначення. Основні гігієнічні вимоги». В ньому визначається рівень екологічної безпечності текстильних матеріалів і виробів залежно від їх конкретного цільового призначення (дитячого асортименту, виробів які в процесі експлуатації контактують чи не контактують зі шкірою людини та інші) [10].

Згідно з ДСТУ 4239-2003, з огляду на безпеку продукції на життя та здоров'я людини, гігієнічні вимоги поділяються на групи [25]:

1) гігієнічне нормування хімічних речовин у складі продукції – допустимий рівень масової частки хімічних волокон,

2) гігієнічне нормування комфортності – гігроскопічності, повітропроникності, питомого поверхневого електричного опору, рівень pH,

3) гігієнічне нормування вмісту шкідливих речовин та міграції їх з продукції до тіла людини та навколишнього середовища – показники вмісту вільного та здатного до емісії формальдегіду, екстрагувальних важких металів, пестицидів, пентахлорфенолу, азобарвників, хлорорганічних носіїв, емісії формальдегіду, летких і пахучих сполук, стійкості пофарбування, наявності специфічного запаху.

З дев'яти пестицидів, які потрібно контролювати згідно з ДСТУ 4239-2003, сім внесено до списків Стокгольмської конвенції про стійкі органічні забруднювачі. Ці пестициди (ДДТ, ДДД, ДДЕ, НСН (без ліндана), ліндан, алдрин, дилдрин, токсафен, гептахлорепоксид) заборонені до використання в Україні згідно з ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001 [26]. У цьому ж документі обумовлено допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водойм, ґрунті.

Проведений порівняльний аналіз вимог стандартів Öko-Tex Standard 100 та ДСТУ 4239-2003 показує [15], що в цілому вони гармонізовані та співпадають за номенклатурою показників і їх нормативним рівнем. Але існує ряд розбіжностей, які виникають насамперед від того, що Öko-Tex Standard 100 містить не лише заборонені чи регламентовані законодавчо параметри, але й такі, що можуть негативно вплинути на здоров'я людини з точки зору сучасної науки. До того ж, номенклатура показників Öko-Tex Standard 100 регулярно переглядається, коректується та вдосконалюється. Так, у таблицях 1, 2 проведено порівняння кількості критеріїв та рівні нормованих значень деяких показників у Öko-Tex Standard 100 версії 2013 та 2015 року. Динаміка у бік підвищення вимогливості очевидна. Поряд із цим, ДСТУ 4239-2003 є незмінним з моменту його введення в дію [15].

Таблиця 1

**Результати порівняння нормованих значень показників безпеки
у стандарті Öko-Tex Standard 100 версії 2013 та 2015 року**

Показники, сполуки	Версія, рік	
	2013	2015
Кадмій, мг/кг	I клас – 50; II клас – 100; III клас – 100; IV клас – 100	40 – для всіх класів
Трихлорфенол, мг/кг	відсутній	I клас – 0,2; II клас – 2,0; III клас – 2,0; IV клас – 2,0
Діхлорфенол, мг/кг	відсутній	I клас – 0,5; II клас – 3,0; III клас – 3,0; IV клас – 3,0
Монохлорфенол, мг/кг	відсутній	I клас – 0,5; II клас – 3,0; III клас – 3,0; IV клас – 3,0
Фталати (сума), мг/кг	відсутні	I клас – 0,1; II клас – 0,1; III клас – 0,1;
Диізонанілфталат, мг/кг	відсутній	IV клас – 0,1

В роботі [15] авторами статті було проведено порівняльний аналіз допустимих нормованих рівнів показників екологічних властивостей, внесених до стандартів ДСТУ 4239:2003 та Öko-Tex Standard 100 та показано, що перелік пестицидів, на вміст яких здійснюється контроль текстильної продукції за вимогами Öko-Tex Standard 100 є значно ширшим і містить більше 60 їх найменувань, поряд із цим у вітчизняному ДСТУ міститься біля 10 найменувань пестицидів. Отже, існує необхідність внесення доповнень і змін у вітчизняний стандарт ДСТУ 4239-2003 відповідно до сучасних вимог, що містяться в міжнародному стандарті Öko-Tex Standard 100. На думку авторів, при формуванні переліку пестицидів, які необхідно контролювати в текстильній продукції також потрібно враховувати реальне використання цих сполук при вирощуванні бавовнику, льону та інших культур, які застосовуються для текстильної промисловості.

Ще один документ, який містить перелік заборонених для використання барвників, вогнестійких сполук, які мають канцерогенну, алергенну дію на організм людини, а також передбачає контроль рівнів вмісту залишкових кількостей хлорорганічних пестицидів і пентахлорфенолу у сировині натурального походження у текстильній продукції – це Державні санітарні норми та правила «Матеріали та вироби текстильні, шкіряні і хутрові. Основні гігієнічні вимоги», які встановлюють медичні вимоги безпеки до

продукції та є обов'язковими вимогами для виконання. На відміну від європейського стандарту Öko-Tex Standard 100 в зазначеному документі окремий перелік пестицидів відсутній, лише у Додатку 6 вказується, що здійснюється контроль вмісту пестицидів у сирових текстильних матеріалах з натуральної сировини за наявності документів, що свідчать про можливий вміст хімічних сполук [1, 2, 5].

Таблиця 2

Порівняння кількості критеріїв безпеки у стандарті Öko-Tex Standard 100 версії 2013 та 2015 року

Показники, сполуки	Версія, рік	
	2010	2015
Перелік пестицидів	60	68
Хлоровані феноли	4	19
Фталати	12	15
Оловоорганічні сполуки	2	7
Канцерогенні барвники	9	14
Хлоровані бензоли і толуоли	10	11
Заборолені вогнестійкі речовини	9	21
Залишки розчинників	3	4
Перфоровані сполуки	відсутні	9
УФ-стабілізатори	відсутні	4
Різниця	63 сполуки	

Отже, стандарт Öko-Tex Standard 100 містить значно більший асортимент показників безпеки, ніж чинні вітчизняні стандарти та санітарні правила і норми. Таким чином, існуючі в Україні документи не виконують на належному рівні контроль за рівнем вмісту барвників, важких металів, антисептиків, пестицидів та інших поллютантів, що збільшує ризик для здоров'я споживачів під час експлуатації одягу [9]. До того ж, слід зазначити, що більшість із показників безпеки, прийнятих на міжнародному рівні, не лише принципово нові для вітчизняної практики, а для здійснення контролю за ними необхідні високочутливі сучасні прилади та висококваліфіковані спеціалісти. Забезпечення вказаного контролю неодмінно вимагатиме вдосконалення, а, можливо, і оновлення технологічних процесів на багатьох підприємствах галузі, особливо в обробному виробництві [6].

Враховуючи викладене вище можна зазначити, що одним з найважливіших елементів оцінки екологічної безпечності продукції текстильної та легкої промисловості є контроль та визначення шляхів зменшення вмісту пестицидів та інших шкідливих речовин у виробі на всіх етапах їх життєвого циклу. Визначення рівнів вмісту пестицидів в сировині та готовій продукції текстильної та легкої промисловості дозволить визначати шляхи їх потрапляння в продукцію, надавати рекомендації виробникам для їх зменшення, а також відкріє шлях для широкого доступу вітчизняних товарів на ринки ЄС і всього світу.

Висновки

1. Проаналізовано причини та шляхи надходження пестицидів та інших шкідливих речовин у продукцію текстильної та легкої промисловості з натуральних волокон – це обробка рослин та ґрунту при їх вирощуванні для захисту від шкідників та хвороб.

2. Проведено аналіз нормативних документів ЄС та України, які регламентують гігієнічні показники сировини та текстильних матеріалів, а також рівні вмісту пестицидів та інших шкідливих речовин. Визначено, що встановлені в стандарті Öko-Tex Standard 100 та ДСТУ 4239-2003 критерії мають ряд розбіжностей, що вказує на необхідність внесення доповнень і змін в останній у відповідності до сучасних вимог міжнародного співтовариства.

Література

1. Богданов Г.Г. Еволюція матеріалів для одягу : навчальний посібник / Г.Г. Богданов, З.В. Захожай. – К. : КНУТД, 2003. – 280 с.
2. Проданчук М. Г. Текстильні матеріали та одяг — сучасні проблеми безпеки / М.Г. Проданчук, Л.Г. Сененко, Н.Є. Дишнієвич // Легка промисловість. – 2004. – № 4. – С. 36–37.
3. Сергеев О.В. Вещества, нарушающие работу эндокринной системы: состояние проблемы и возможные направления работы / О.В. Сергеев, О.А. Сперанская. – Самара : ООО «Издательство Ас Гард», 2014. – 35 с.
4. Доклад сопредседателей Целевой группы по стойким органическим загрязнителям (СОЗ) / ООН, СЕК [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2002/eb/wg1/eb.air.wg.1.2002.14.r.pdf>
5. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Матеріали та вироби текстильні, шкіряні і хутрові. Основні гігієнічні вимоги» : наказ Міністерства охорони здоров'я України № 1138 від 29.12.2012.
6. Артемов А.В. Современные методы и подходы к экологической сертификации текстильной продукции / А.В. Артемов, О.М. Ольшанская [Електронний ресурс]. – Режим доступу :

<http://www.textileclub.ru/index.php?option=articles&task=viewarticle&artid=90&Itemid=3>

7. Високотехнологічні конкурентоспроможні і екологічноорієнтовані волокнисті матеріали та вироби з них : монографія / [П.А. Глубіш, В.М. Ірклєй, Ю.Я. Клейнер, Н.М. Резанова, М.В. Цебрєнко, С.М. Кернер, В.Д. Омєльченко, Ю.Т. Турчанєнко]. – К. : Арістей, 2007. – 264 с.

8. Слізков А.М. Проблеми екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості і шляхи їх вирішення / А.М. Слізков, Н.І. Упірова // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2015. – № 2. – С. 221–226.

9. Семак Б.Б. Роль екологічної експертизи та аудиту у формуванні вітчизняного ринку екотекстилю / Б.Б. Семак // Вісник Сумського державного університету. Серія Економіка. – 2011. – № 1. – С. 142–149.

10. Поліщук С. С. Напрями досягнення конкурентоспроможності текстильної продукції в обробному виробництві / С.С. Поліщук, С.О. Поліщук // Легка промисловість. – 2004. – № 2. – С. 46.

11. Артемов А.В. Исследования льняных тканей на загрязненность и соответствие международным стандартам / Артемов А.В., Ольшанская О.М., Грищенкова В.А. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.textileclub.ru/index.php?option=displaypage&Itemid=106&or=page&SubMenu=

12. Супрун Н.П. Сучасні проблеми виробництва безпечного споживання та екологічно чистого текстилю : монографія / Н.П. Супрун, Г.В. Щуцька. – Кафедра, 2013. – 112 с.

13. Кричевський Г.Е. Опасность и безопасность изделий из текстиля / Г.Е. Кричевский // Текстильная промышленность. – 2006. – № 3. – С. 42–45.

14. Ольшанская О.М. Какую одежду мы носим? / О.М. Ольшанская, А.В. Артемов [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://legprom.bz/?id=1414>.

15. Упірова Н.І. Шляхи розвитку екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості України / Н.І. Упірова, А.М. Слізков, Л.А. Дмитренко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2015. – № 3. – С. 157–163.

16. Упірова Н.І. Особливості формування гігієнічних вимог та екологічної безпечності текстильних матеріалів та виробів з них / Н.І. Упірова, А.М. Слізков, О.О. Гайдей // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – № 3(237). – С. 263–266.

17. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/pdf/pollutants.pdf

18. Роттердамская конвенция о процедуре предварительного обоснованного согласия в отношении отдельных опасных химических веществ и пестицидов в международной торговле [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.fao.org/3/a-y5877r.pdf>

19. Берзіна С.В. Екологічна сертифікація продукції: Екологічне маркування в запитаннях та відповідях : методичний посібник / Берзіна С.В. – К. : вид-во ТОВ «Джерела знань», 2006. – 56 с.

20. Харламова Г. Індекс екологічної безпеки України: концепція та оцінка / Г. Харламова, В. Бутковський // Вісник КНУ ім. Т. Шевченка – 2014. – № 7. – С. 92–97.

21. Рішення Комісії Європейських Співтовариств від 15.05.2002 р. «Про встановлення екологічних критеріїв для присвоєння знаку екологічного маркування Співтовариства текстильним продуктам і про внесення змін до Рішення 1999/178/ЄС» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://minjust.gov.ua/ua>

22. Упірова Н.І. Екологічна сертифікація продукції текстильної та легкої промисловості як інструмент впливу на повний життєвий цикл текстильних виробів / Н.І. Упірова, А.М. Слізков, О.О. Гайдей // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – № 1(233). – С. 181–184.

23. Салімов Е. Розвиток ринку екотекстилю в Україні відбуватиметься за європейськими стандартами / Е. Салімов // Електронний журнал «Екопогляд». – 2013. – № 11–12. – С. 59.

24. Артемов А.В. Химический состав льняных тканей / Артемов А.В., Ольшанская О.М., Грищенкова В.А. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.textileclub.ru>

25. Матеріали та вироби текстильні і шкіряні побутового призначення. Основні гігієнічні вимоги : ДСТУ 4239-2003. – Чинний від 2004-10-01. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 18 с. – (Національний стандарт України).

26. Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті : Державні санітарні правила та норми ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001. – [затв. № 137 від 20.09.01]. – Київ : МОЗ України, 2001. – 245 с.

Рецензія/Peer review : 17.8.2016 р.

Надрукована/Printed : 26.8.2016 р.

Рецензент: д.т.н. Супрун Н.П.

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 № 1 від .9.2016 р.**

Підп. до друку 1.9.2016 р. Ум.друк.арк. 19,63 Обл.-вид.арк. 25,53
Формат 30х42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого
редакцією журналу “Вісник Хмельницького національного університету”
редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63