

ISSN 2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

6.2016

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки
Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2016, Issue 6, Volume 243

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, № 6 (243)

**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 № 6 від 24.11.2016 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, Я.Т. КІНИЦЬКИЙ**

ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНОЇ ТРИВАЛОСТІ ЗУПИНКИ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ У ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМАХ, СИНТЕЗОВАНИХ ЗА УМОВАМИ НАЙКРАЩОГО НАБЛИЖЕННЯ ЗА ЧЕБИШЕВИМ 7

І.В. ПЕТКО, Т.Я. БІЛА, В.М. ПАВЛЕНКО

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РУЙНУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ ШВИДКОПЛИННИМ СТРУМЕНЕМ РІДИНИ 13

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

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РОБОТИ НИТКОНАТЯГУВАЧІВ ТЕКСТИЛЬНИХ МАШИН 18

В.Л. МАРЧЕНКО, В.М. ЦИМБАЛЮК

ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕФОРМУВАННЯ ТОНКОСТІННИХ КОНУСІВ 22

Я.Т. КІНИЦЬКИЙ, О.В. ГОЛОВКО

НАБЛИЖЕНИЙ АНАЛІТИЧНИЙ СИЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ШЕСТИЛАНКОВИХ ВАЖІЛЬНИХ ПЕРЕДАТОЧНИХ МЕХАНІЗМІВ 27

Т.І. КУЛІК, Б.М. ЗЛОТЕНКО

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ІНЖЕКЦІЙНОГО ФОРМУВАННЯ ВИРОБІВ ІЗ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ 31

Ю.В. САВИЦЬКИЙ, О.В. ЯРЕМЧУК

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «ГАЙКА» З МЕТОЮ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ 35

О.А. НЕСТЕРОВ

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕРМІНІВ ТА РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕМОНТУ ОБЛАДНАННЯ 40

О.М. СИНЮК, М.Є. СКИБА

МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІНИ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЇ СТРУКТУРИ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ЧАС ОРІЄНТАЦІЙНОЇ ВИТЯЖКИ 45

Ю.В. САВИЦЬКИЙ

ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ВИРУБНИХ ШТАМПІВ 51

В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, Д.Ю. КЛЮЄВ, С.М. КОРЖОВ

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТА МОНІТОРИНГУ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ЗАВОДІВ 55

В.О. ПРИВАЛА, А.А. МИЧКО

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ НВЧ-ПОЛЯ ДЛЯ СТРУКТУРНОЇ МОДИФІКАЦІЇ ГОТОВИХ ПОЛІМЕРНИХ ПЛІВКОВОК РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ 63

Д.М. ЯКИМЧУК, Р.О. БАСАЛАЄВ

ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЗАКЛАДАХ ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА 67

О.Г. ТИМОЩУК

МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ НОМІНАЛЬНОГО КОНТАКТНОГО ТИСКУ ТА ТРИВАЛОСТІ НАТІКАННЯ ГАЗУ В ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВИХ УЩІЛЬНЕННЯХ 71

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

О.В. ЧЕПЕЛЮК, М.П. АРТЕМЕНКО, О.В. ЯКИМЧУК КОНЦЕПЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ОДЯГУ З ПОВСТІ: ЕСТЕТИЧНИЙ АСПЕКТ	77
О.П. БОХОНЬКО СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЕКТУВАННЯ ДИТЯЧИХ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ GALS - ТЕХНОЛОГІЙ	83
І.В. ВАСИЛЬЄВА, Є.П. ГУЛА, О.С. ВАСИЛЬЄВА РОЗРОБКА ПІДХОДУ ДО ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ СУКОНЬ-ОБЕРЕГІВ НА ОСНОВІ НАРОДНОЇ СИМВОЛІКИ УКРАЇНЦІВ	89
О.П. СИРОТЕНКО, Н.С. ЯЦЮК МЕТОДИКА ПІДБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ ВИШИВКИ З УРАХУВАННЯМ ДІЛЯНКИ ОЗДОБЛЕННЯ ДЕТАЛІ	93
В.Л. ПОЛЄВОД, Н.В. ОСТАПЕНКО, А.І. РУБАНКА, Н.Д. КРЕДЕНЕЦЬ СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ЗАХИСНОМУ ОДЯЗІ	99
О.С. ВАСИЛЬЄВА, М.В. КОЛОСНІЧЕНКО, І.В. ВАСИЛЬЄВА, Є.П. ГУЛА РОЗРОБКА МЕТОДУ ПОБУДОВИ НУЛЬОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ШИТИХ ГОЛОВНИХ УБОРІВ	104
М.Г. ІВАНИЦЬКА, Н.В. ПЕРВАЯ РОЗРОБКА ВЗУТТЯ ДЛЯ ЛЮДЕЙ ПОХИЛОГО ВІКУ З УРАХУВАННЯМ ЕТІОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ	108
А.Г. ДАНИЛКОВИЧ, С.О. БІЛІНСЬКИЙ, А.Ю. КУДЗІЄВА ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОДИСПЕРСНОГО ОКСИДУ КРЕМНІЮ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ШКІРЯНОГО НАПІВФАБРИКАТУ	112
Г.В. ЩУЦЬКА, Н.П. СУПРУН АНАЛІЗ ТРАНСФЕРУ РІДИНИ В БАГАТОШАРОВИХ ПЕРЕВ'ЯЗОЧНИХ ЗАСОБАХ	117
А.В. МИЩЕНКО, Д.С. КАЧУК, В.В. НАЗАРОВА ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ УРЕТАНОВОЙ ЗАГУСТКИ И УЛУЧШЕНИЕ ЕЕ ПСЕВДОПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ	122
Д.Г. КРУГЛИЙ, К.М. КЛЕВЦОВ, КНЯЗЄВ О.В. ОТРИМАННЯ ЦЕЛЮЛОЗИ З ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА ЛУБ'ЯНИХ КУЛЬТУР	128
І.М. СИЛКА, Н.Е. ФРОЛОВА КОМП'ЮТЕРНА ПРОГРАМА РОЗРАХУНКУ ГАЗОХРОМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ УТРИМУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ ЕФІРНИХ ОЛІЙ	133
М.С. ВИННИЧУК, М.В. КОЛОСНІЧЕНКО, В.О. МУСІЄНКО, А.Ю. АНТОНЮЖЕНКО ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ ПРИНЦИПІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ ..	138
А.К. КАРМАЛІТА ДИЗАЙН МУЗЕЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	144

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

В.І. ЛУЖАНСЬКИЙ, Ю.О. БАБІЙ, О.П. АЙДАРОВ ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕН БАЗОВИХ СТАНЦІЙ ТА ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ АБОНЕНТІВ СТАНДАРТІВ GSM ТА CDMA	147
В.І. ЛУЖАНСЬКИЙ, Л.В. КАРПОВА, Ю.В. МАРІЇНА ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В СИСТЕМАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ПРИ ВІДПОВІДНИХ СПІВВІДНОШЕННЯХ СИГНАЛ/ШУМ НА ЙМОВІРНІСТЬ БІТОВОЇ ПОМИЛКИ ТА ЧИСЛА МАКСИМАЛЬНО АКТИВНИХ АБОНЕНТІВ	156

Ю.О. БАБІЙ АНАЛІЗ НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ	166
Я.І. ТОРОШАНКО АНАЛІЗ ЧУТЛИВОСТІ СИСТЕМ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ АДАПТАЦІЇ І РЕГУЛЮВАННЯ ЗОВНІШНЬОГО ТРАФІКА	171
Н.А. ФИЛИНЮК, Л.Б. ЛИЩИНСКАЯ, В.П. СТАХОВ RS-ТРИГГЕР НА МОНОИМИТАНСНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ R-ЭЛЕМЕНТАХ «ИЛИ-НЕ»	176
П.О. ТИМКІВ, О.В. ГЕВКО ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СВІТЛОДІОДІВ В НИЗЬКОІНТЕНСИВНІЙ ЕЛЕКТРОРЕТИНОГРАФІЇ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ НЕЙРОТОКИСКАЦІЇ	185
Р.А. МАЛЯРЧУК, Т.О. ГОВОРУЩЕНКО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИБОРУ МЕТОДОЛОГІЇ РОЗРОБЛЕННЯ ДЛЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІЗНИХ ТИПІВ	191
Д.А. МАКАРИШКІН, Л.О. КОВТУН, О.Г. ОНИШКО ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТА КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ ЦИФРОВОЇ РАДІОРЕЛЕЙНОЇ СТАНЦІЇ	196
О.К. ЯНОВИЦЬКИЙ, О.С. ЯНОВИЦЬКИЙ, В.Ф. ДЗЯБУРА ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ ПІД ЧАС РЕАЛІЗАЦІЇ СУМІСНОЇ РОБОТИ З СИСТЕМАМИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕНЬ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН	206
А.С. КАШТАЛЬЯН ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОВУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРЯМОГО РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ	210
O.S. ZVIANIN, O.V. OSADCHUK, A.YU. SAVYTSKYI, S.V. BARABAN, O.O. SELETSKA THE RADIOMEASURING HUMIDITY SENSOR WITH THE FREQUENCY OUTPUT SIGNAL	216
А.Ю. КЛАПОУЩАК, Д.М. БАРАНОВСЬКИЙ, В.С. ПАВЛОВ ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ ЕМ-ВИПРОМІНЮВАННЯ З БІООб'єктами	219
О.В. БОНДАРЕНКО, Л.І. СТЕПАНОВА ОГЛЯД НОРМАТИВНО-ПРАВОВИХ ДОКУМЕНТІВ З ВИЗНАЧЕННЯ БІОЛОГІЧНО-БЕЗПЕЧНОЇ ДЛЯ НАСЕЛЕННЯ ЗОНИ ВИПРОМІНЮВАННЯ АНТЕНИ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ	222
В.С. ПАСТУШЕНКО, А.А. СТОПАКЕВИЧ, АН.А. СТОПАКЕВИЧ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В МЕТАНОЛ И СИСТЕМЫ ЕГО АВТОМАТИЗАЦИИ	226
В.М. КУТІН, О.О. ШПАЧУК АЛГОРИТМ ПОШУКУ ПОШКОДЖЕННЯ В ПРИСТРОЯХ ЗАХИСТУ ВІД ОДНОФАЗНИХ ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ ОБМОТКИ СТАТОРА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА, ЩО ПРАЦЮЄ В БЛОЦІ З ТРАНСФОРМАТОРОМ	231
Д.А. МАКАРИШКІН, Л.О. КОВТУН, О.Г. ОНИШКО, А.В. БОРИС ЕВОЛЮЦІЙНИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ НВЧ ТРАНЗИСТОРНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ	238
В.Р. ЛЮБЧИК, А.В. КЛЕПКОВСЬКИЙ, В.О. КОВАЛЕВ МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ КОМПЛЕКСІВ ОПТИКО-ТЕЛЕВІЗІЙНОГО НАВЕДЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СТЕРЕОСКОПІЧНИХ ОПТОСИСТЕМ	248

В.В. ГРАБКО, В.В. ГРАБКО, А. А. БАРТЕЦЬКИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ГАЛЬМІВНОГО КОЛА ЧАСТОТНО-КЕРОВАНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА	253
І.В. ГУЛА, К.Л. ГОРЯЩЕНКО, В.В. МІШАН ПОРІВНЯННЯ РЕЖИМІВ ПЕРЕДАЧІ МІМО ТА SISO В БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖАХ	257
В.В. РУДЗІНСЬКИЙ, В.П. ШУМЛЯКІВСЬКИЙ ПІДВИЩЕННЯ СЕРЕДНЬОЇ ТЕХНІЧНОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ МІСЬКИХ МАРШРУТНИХ АВТОБУСІВ	261

УДК 621.01

В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ, Я.Т. КІНИЦЬКИЙ

Хмельницький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНОЇ ТРИВАЛОСТІ ЗУПИНКИ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ У ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМАХ, СИНТЕЗОВАНИХ ЗА УМОВАМИ НАЙКРАЩОГО НАБЛИЖЕННЯ ЗА ЧЕБИШЕВИМ

В роботі розглядається питання синтезу важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки на базі шарнірного чотириланкового кругового напрямного механізму. Одним з ефективних методів їх синтезу є використання умов найкращого наближення за Чебишевим, проте для таких механізмів можливі випадки повільної зміни функції переміщення вихідної ланки за межами теоретичної ділянки наближення, в результаті чого фактична тривалість зупинки може відрізнятися від теоретичної, що розрахована за умовами найкращого наближення за Чебишевим. Проведено розрахунки числовим способом та визначено фактичні (рекомендовані) значення цих величин. Наведено результати у вигляді довідкових діаграм.

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

V.O. KHARZHEVSKYI, YA. T. KINYTSKYI

Khmelnytskyi National University

THE DETERMINATION OF THE ACTUAL DWELL DURATION OF THE OUTPUT LINK IN LINKAGE MECHANISMS WHICH ARE SYNTHESIZED BY MEANS OF CHEBYSHEV'S BEST APPROXIMATION CONDITIONS

The article is dedicated to the synthesis of dwell linkage mechanisms on the basis of four-bar circular path generating linkage. One of the effective method of their synthesis is the usage of Chebyshev's best approximation conditions, but the possible case for these mechanisms is when the output link has very slow change of the displacement outside of the theoretical dwell period. As a result, the actual dwell duration of the output link can differ in comparison with the theoretical value, which is determined using the Chebyshev's best approximation conditions. The calculations were carried out using the numerical method and the actual (recommended) dwell durations were determined. The results of the calculations are shown as a reference diagrams.

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

При проектуванні сучасних машин важливим етапом є обґрунтований вибір типів, схем та розмірів механізмів, які входять до їх складу, з врахуванням найважливіших характеристик, що визначають функціональне призначення таких механізмів. Відомо, що основні характеристики механізмів закладаються вже на етапі їх кінематичного синтезу, а наступні розрахунки на міцність, конструктивне оформлення, вибір матеріалів, вже не можуть суттєво змінити їх основні властивості. Таким чином, важливою задачею є правильний вибір геометричних параметрів проєктованих механізмів, що вимагає розробки уточнених методів їх кінематичного синтезу.

В різних галузях сучасного машинобудування часто виникає задача створення механізмів, що забезпечують періодичну зупинку вихідної ланки певної тривалості. Для цього часто використовують механізми з вищими кінематичними парами, зокрема кулачкові, мальтійські, зубчасті механізми неповнозубих коліс, проте, як відомо, використання для цього саме важільних механізмів має ряд переваг [1, 2, 13]. Такі механізми є більш надійними та довговічними, здатні працювати з більшими робочими швидкостями та дозволяють забезпечити більшу продуктивність машин. Іншою важливою задачею є проектування напрямних механізмів, виконавчий орган яких повинен здійснювати рух за певною траєкторією. Як відомо [1, 2, 13], кругові та прямолінійно-напрямні важільні механізми мають у машинобудуванні самостійне використання, а також можуть використовуватись як базові при проектуванні механізмів із зупинкою вихідної ланки.

В даній роботі розглянемо проектування важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки на базі шарнірного чотириланкового кругового напрямного механізму (рис. 1). Відомо [1, 2], що існує два основних напрямки їх синтезу: використання методів найкращого наближення за Чебишевим, що отримали подальший розвиток, зокрема, в роботах Блоха, Гродзенської, Кіницького [2], Гассманна [13], та методи кінематичної геометрії, започатковані німецьким вченим Бурместером, які отримали розвиток в роботах Ліхтенгельдта [12], Мюллера, Бейера, Черкудінова [1] та інших вчених. В основі методів кінематичної геометрії нескінченно близьких положень плоскої фігури лежить принцип пошуку певних особливих точок шатунної площини, зокрема точок Болла [1,4,6], Бурместера [8], Чебишева [10] (іноземні дослідники деколи називають їх точками Болла-Бурместера), а також точок розпрямлення 4-го [5] та 5-го порядків [11]. Якщо прийняти такі особливі точки за шатунні точки механізму, то в деякому околі від таких точок шатунні криві будуть мати ділянки приблизно постійної кривизни – таких чином можна отримати кругові та прямолінійно-напрямні механізми. Найкраще наближення за Чебишевим, в свою чергу, полягає у пошуку таких

механізмів, які б забезпечили наявність найбільшої кількості вузлів інтерполяції між шатунною кривою та колом наближення (в даному випадку – шість), причому відхилення на інтервалі наближення повинні змінюватись рівномірно (рис. 1, а).

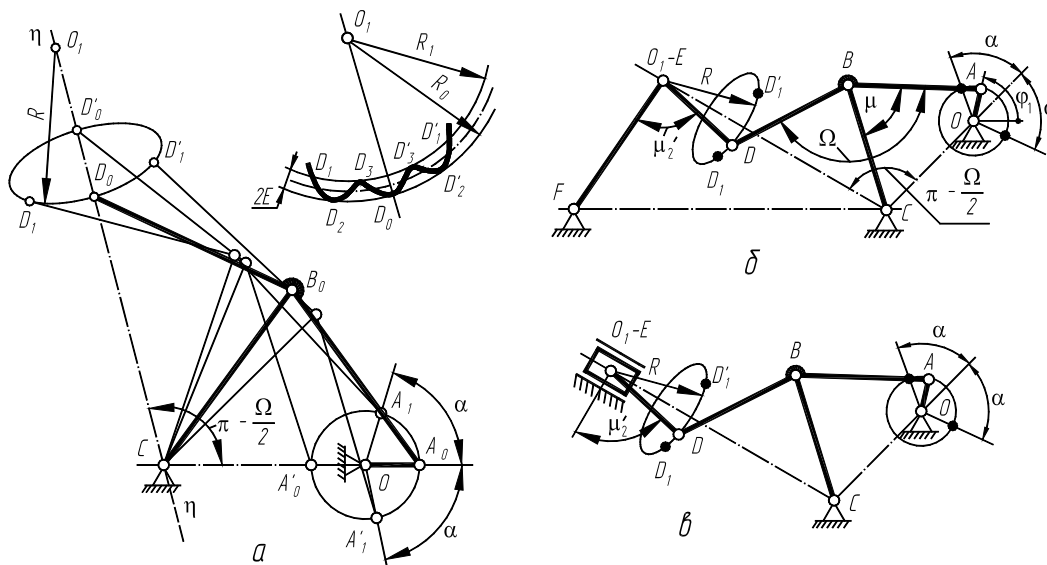


Рис. 1. Механізм Чебишева, що забезпечує наближення ділянки шатунної кривої до дуги кола (а), а також механізми із зупинкою вихідної ланки на його основі: б) з приспінаною групою 1-го виду; в) з приспінаною групою 2-го виду [2]

Важливою перевагою використання методу найкращого наближення за Чебишевим для проектування напрямних механізмів є можливість отримання тривалих ділянок наближення теоретично високої точності. Проте поряд з відомими перевагами таких механізмів, є також певні недоліки, описані в монографії Кіницького Я.Т. [2], що присвячена дослідженню цих механізмів. Зокрема зазначається, що в таких механізмах можливий сповільнений перехід вихідної ланки з фази зупинки та навпаки, що приводить до погіршення якісних характеристик законів руху [2, с. 148]. Дослідження цих механізмів на предмет наявності сповільненого виходу вихідної ланки з фази зупинки проводилось нами також в роботах [4, 7, 9], де зокрема встановлено, що фактична величина зупинки вихідної ланки може значно відрізнятись від теоретичної (рис. 2).

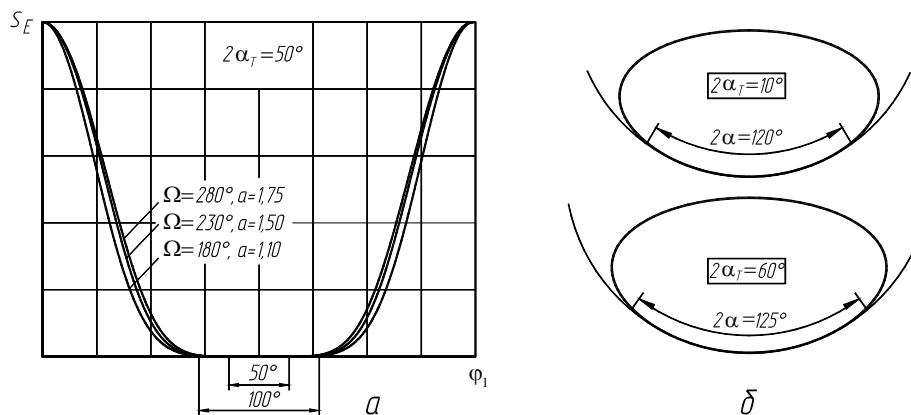


Рис. 2. Приклади діаграм переміщень вихідної ланки механізмів Чебишева (а), а також приклади шатунних кривих кругового напрямного механізму Чебишева (б) [4, 5]

Як видно з прикладів, наведених на рис. 2, а, фактична тривалість зупинки вихідної ланки в даному випадку практично в 2 рази перевищує теоретичне значення α_T . Причому, як видно з наведених прикладів шатунних кривих (рис. 2, б), не дивлячись на невелику теоретичну тривалість ділянки наближення, відповідне фактичне значення є значно більшим.

Таким чином, метою даної роботи є визначення фактичних величин ділянок наближення в таких механізмах числовим способом та побудова відповідних довідкових діаграм, що буде корисно інженерам-конструкторам в контексті практичного використання таких механізмів.

Симетричний лямбдоподібний механізм Чебишева, зображений на рис. 1, складається з кривошипа OA довжиною r та двоповідкової структурної групи, що утворена ланками ABD та BC , яку називають діадою Чебишева [1, 2]. У механізмі виконується співвідношення $l = l_{AB} = l_{BC} = l_{BD} = 1$. Таким чином, всі розміри у механізмі є відносними, за модуль довжини прийнято довжину l . Відстань між осями нерухомих шарнірів

$a = l_{OC}$, кут злому шатуна ABD $\Omega = \angle ABD$. Для забезпечення визначеності в русі ланок і прокручування кривошипа OA необхідно, щоб $r < 1$ та $r + a < 2l$. При таких співвідношеннях розмірів ланок, шатунна точка D механізму буде описувати криву, що симетрична відносно осі $\eta-\eta$, яка проходить через центр нерухомого шарніра C (рис. 1, а). Відомо [2], що такий механізм однозначно визначається трьома параметрами: Ω , a , r .

Механізми із зупинкою вихідної ланки (рис. 1, а, б) побудовані таким чином, що до базового кругового напрямного шарнірного чотириланкового механізму $OABCD$ приєднано додаткову структурну групу 1-го (рис. 1, а) або 2-го виду (рис. 1, б). Під час проходження шатунною точкою D ділянки наближення $D_1D'_1$ вихідна ланка механізму (коромисло EF або повзун E) будуть мати наближену зупинку, тривалість якої відповідає куту 2α повороту кривошипа OA . Для проведення синтезу базових напрямних механізмів Чебишева нами використовувались методи, описані в монографії [2], а для розв'язання поставленої задачі, а саме – визначення фактичної тривалості зупинки вихідної ланки – числовий метод, що базується на використанні безрозмірного коефіцієнта граничної швидкості вихідної ланки, який описаний в роботі [7]. Зазначений числовий метод розроблявся для визначення тривалості зупинки у механізмів, що синтезовані методами кінематичної геометрії, тому з метою використання цього методу для механізмів Чебишева потрібно було внести певні зміни, як буде описано нижче. Результати проведених розрахунків фактичної тривалості зупинки наведені на рис. 3, 4.

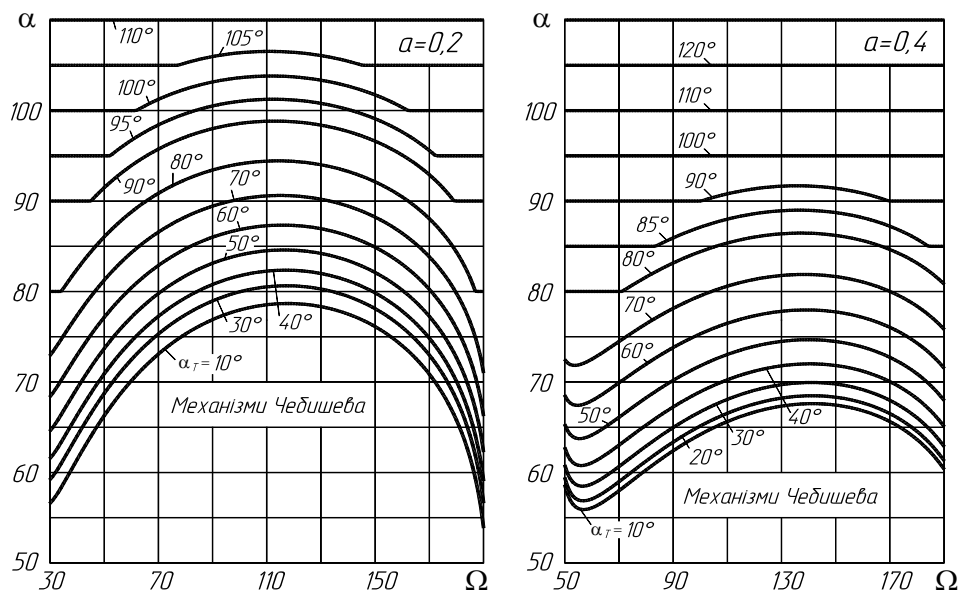


Рис. 3. Діаграми тривалості зупинки вихідної α ланки у механізмах Чебишева, визначені числовим способом (для механізмів, що мають міжосьову відстань $a=0,2$ та $a=0,4$ та теоретичну зупинку тривалістю α_T)

Відповідно до [2], початковими параметрами синтезу кругового напрямного механізму Чебишева є кут Ω злому шатуна ABD , міжосьова відстань a та необхідний кут α_T , що визначає теоретичну ділянку наближення. Зазначимо, що на наведених нижче діаграмах теоретичне значення цього кута будемо позначати як α_T , а фактичне, отримане з використанням методів числового аналізу – α . В результаті синтезу отримуємо довжину кривошипа r , відносну відстань Z від нерухомого центра обертання C до центра O_1 , радіус кола наближення R , максимальне відхилення E на теоретичній ділянці наближення та максимальний хід вихідної ланки $S_{\max}$.

Визначення фактичної величини ділянки наближення проводилось наступним чином:

1. За початкову точку шатунної кривої, з якої починаємо розрахунок, обираємо точку D_0 (середина інтервалу наближення), положення якої розраховується як шатунна точка D , визначена для положення кривошипа $\phi_1 = 0$ (див. рис. 1).
2. Розраховуємо діаграму інваріантів переміщень вихідної ланки: кожне значення S_i ділимо на максимальне значення $S_{\max}$, в результаті отримуємо діаграму, в якій переміщення змінюються від 0 до 1.
3. Будуємо діаграму одиничних швидкостей, продиференціювавши діаграму одиничних переміщень.
4. Розраховуємо значення швидкостей по цій діаграмі вліво (або вправо, оскільки механізм є симетричним) до досягнення граничної швидкості, після цього фіксуємо величину фактичного інтервалу наближення α та максимальне відхилення E . Зазначимо, що величина безрозмірного коефіцієнта граничної швидкості вихідної ланки приймалась такою ж, як в дослідженнях [4-11], а саме $v_\alpha = 0,022$.
5. Порівнюємо отримане значення α з теоретичним α_T , що визначається сімома точками граничних

відхилень (6 спільних точок між шатунною кривою та колом наближення): якщо в результаті проведених розрахунків отримаємо, що $\alpha < \alpha_T$, тобто швидкість вихідної ланки перевищила граничне значення навіть на теоретичному інтервалі наближення, тоді за фактичну тривалість зупинки приймаємо саме теоретичне значення з тим відхиленням E , яке було визначене для найкращого наближення за Чебишевим.

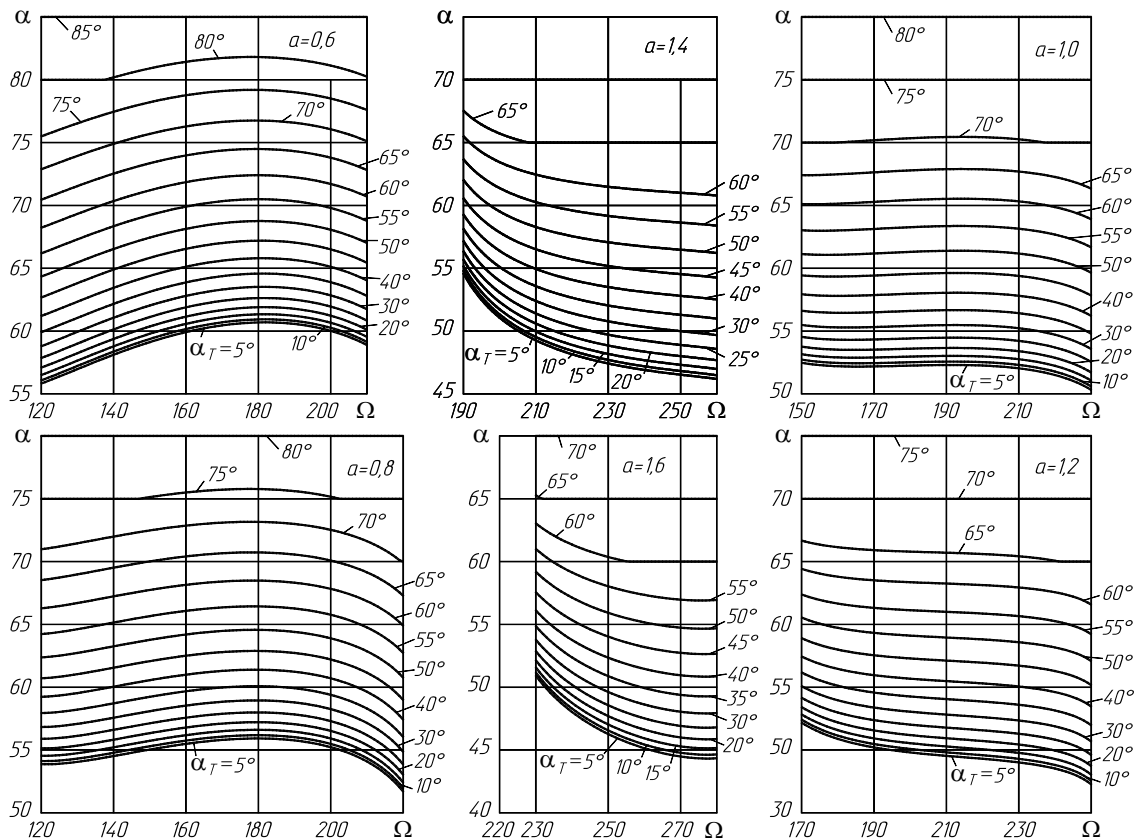


Рис. 4. Діаграми тривалості зупинки вихідної α ланки у механізмах Чебишева, визначені числовим способом (для механізмів, що мають міжосьову відстань $0,4 < a < 1,4$ та теоретичну зупинку тривалістю α_T)

Якщо проаналізувати діаграми, зображені на рис. 3,4, то можна відмітити, що в більшості механізмів Чебишева спостерігається сповільнений вихід з фази зупинки, оскільки значення α є набагато меншим від α_T , що вибрано з умов найкращого наближення. Особливо це стосується механізмів з невеликими значеннями тривалостей зупинки α_T . Встановлено, що практично не існує механізмів Чебишева, у яких фактична величина вистою була би менше $2\alpha < 80^\circ$. На відміну від цього, механізми, які синтезовані методами кінематичної геометрії (з використанням особливих точок шатунної площини), як показано в роботах [4–11], здатні забезпечувати такі значення. Однак значною перевагою механізмів Чебишева є більша точність наближення.

Для прикладу, на рис. 5 показано діаграми зміни максимального відхилення E для механізмів, у яких міжосьова відстань $a = 1$. Як видно з рис. 5, а, б, умови найкращого наближення за Чебишевим забезпечують значно кращу точність наближення порівняно з тими ж механізмами, у яких інтервал наближення вибраний числовим способом, однак практично в механізмах Чебишева інтервал наближення продовжується і далі, за межами теоретичного інтервалу, але з дещо більшим відхиленням. Таким чином, перевагою запропонованого методу є те, що він дозволяє розраховувати фактичний інтервал наближення, не дивлячись на те, що відхилення E на ньому є більшими (рис. 5, в).

Як видно з одержаних результатів, для механізмів з порівняно тривалими зупинками вихідної ланки, величина фактичного вистою α , одержаного числовим способом, збігається з теоретичними значеннями α_T – в такому випадку на діаграмах, зображених на рис. 3,4 маємо ділянки з горизонтальними прямими лініями. Причому є такі значення α_T , для яких у частині механізмів фактична ділянка наближення відповідає теоретичній, а для інших механізмів – фактично є більшою та була розрахована числовим способом. Цим пояснюється, зокрема, те, що на рис. 5, в для значення $\alpha_T = 70^\circ$ показана крива, яка відповідає тільки частині механізмів, оскільки інші механізми мають відхилення найкращого наближення за Чебишевим, що вибирається за рис. 5, а.

Як вже зазначалось, фундаментальною роботою з дослідження механізмів Чебишева є монографія [2], де вперше повністю побудовані межі існування таких механізмів для різних значень кута Ω злому шатуну ABD , а також проведені їх кінематичні та кінетостатичні дослідження. Використовуючи наведені

там довідкові карти попереднього синтезу, а також числові значення, наведені у додатках, можна спроектувати механізми з вистоем вихідної ланки. Наведені в даній статті результати дозволяють спрогнозувати величину цього вистое з врахуванням сповільненого виходу ланки з фази зупинки, а також відхилення на такому інтервалі наближення.

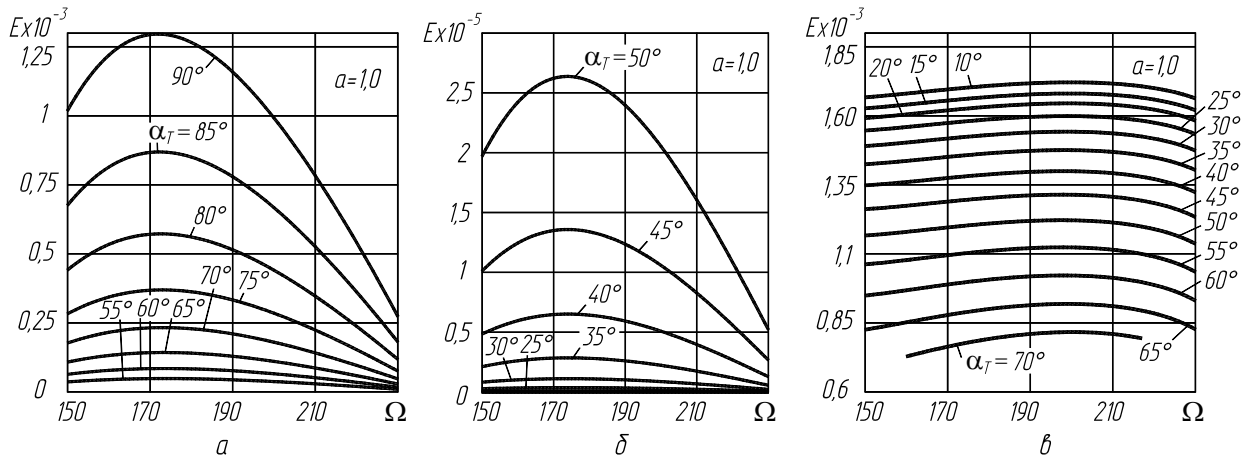


Рис. 5. Діаграми зміни точності наближення: a , b – теоретичні значення, відповідно до умов найкращого наближення за Чебишевим; c – фактичні значення, отримані числовим способом

В роботі [2] межі існування механізмів Чебишева зображено як діаграми $a = f(r)$, проте в нашому випадку це незручно, оскільки механізми з однаковою теоретичною ділянкою наближення α_T фактично мають різні інтервали наближення, що визначаються числовим способом. Тому, використовуючи методику та алгоритми, наведені у [2], нами побудовані діаграми для вибору геометричних параметрів таких механізмів як функції від кута Ω злому шатуна ABD . Приклади таких діаграм для значення міжосової відстані $a = 1$ наведені на рис. 6.

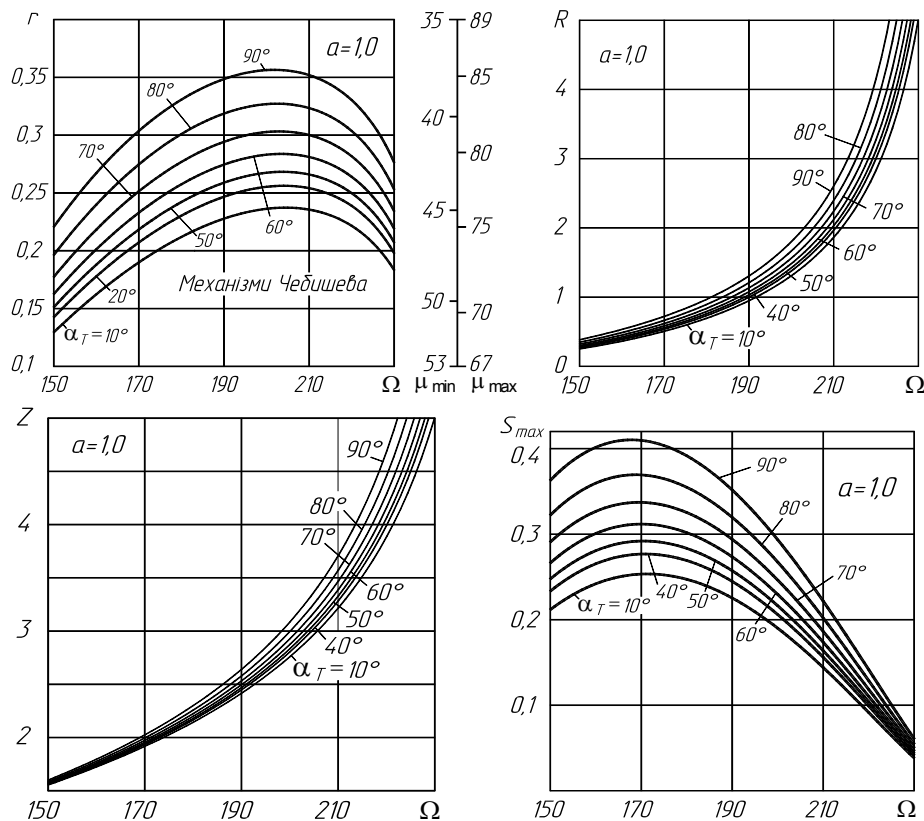


Рис. 6. Діаграми для визначення геометричних параметрів механізмів Чебишева відповідно до величини теоретичного інтервалу наближення

Важливим параметром, що визначає умови передачі зусиль у механізмі, є значення кута передачі в базовому напрямному механізмі $OABCD$ (рис. 1, б). Відповідно до рекомендацій [1, 2], значення цього кута має знаходитись у межах $30^\circ \leq \mu_{\min} \leq 150^\circ$. Як показали результати проведених досліджень, механізми

Чебишева, які мають міжосьову відстань $a = 0,2; 0,4; 0,6$ мають незадовільні значення цих кутів, забезпечуючи відповідно максимальні значення $\mu_{\min}$ відповідно менше $9^\circ, 22^\circ$ та 27° . Інші механізми, що розглядаються в даній роботі, можна рекомендувати для практичного використання. Дослідження всієї області існування механізмів Чебишева проводилось лише з метою підтвердження гіпотези про те, що фактична величина інтервалу наближення в усіх механізмах може відрізнятися від теоретичної.

Таким чином, розроблений аналітично-числовий метод та отримані результати дозволяють визначати фактичні величини інтервалів наближення та відповідно тривалості зупинок вихідних ланок механізмів, синтезованих з умов найкращого наближення за Чебишевим. Наведені результати у вигляді довідкових діаграм дозволяють визначати всі необхідні геометричні параметри таких механізмів. Дослідження планується продовжити в напрямку визначення меж існування механізмів з однаковою фактичною тривалістю зупинки та проведення кінематичного та кінетостатичного дослідження таких механізмів.

Література

1. Артоболевский И. И. Синтез плоских механизмов / И. И. Артоболевский, Н. И. Левитский, С. А. Черкудинов – М. : Физматгиз, 1959. – 1084 с.
2. Киницкий Я.Т. Шарнирные механизмы Чебышева с выстоем выходного звена / Я. Т. Киницкий. – К. : Вища школа, 1990. – 232 с.
3. Киницкий Я.Т. Теория механизмов и машин в системе Mathcad : навч. посібник / Я.Т. Киницкий, В.О. Харжевський, М.В. Марченко. – Хмельницький : РВЦ ХНУ, 2014. – 295 с.
4. Харжевський В. О. Чисельно-аналітичний метод синтезу важільних механізмів з зупинкою вихідної ланки на базі несиметричного шарнірного чотириланкового механізму з використанням точок Болла / В. О. Харжевський, Я. Т. Киницкий // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2003. – № 4. – С. 43–54.
5. Харжевський В. О. Методика синтезу важільних прямолінійно-напрямних механізмів з дотиком 4-го порядку / В.О.Харжевський // Вісник Технологічного у-ту Поділля. – 2003. – Т. 2. – № 6, ч. 1 – С. 152–163.
6. Харжевський В. О. Синтез механізмів із зупинкою вихідної ланки на основі двокривошипного шарнірного чотириланкового механізму / В.О.Харжевський // Збірник наукових праць. – Хмельницький : НАДПСУ. – 2004. – № 28, ч. 1 (спец. випуск). – С. 123–125.
7. Харжевський В. О. Синтез важільних прямолінійно-напрямних механізмів та механізмів із зупинкою вихідної ланки на базі шарнірного чотириланкового механізму : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.02 / Харжевський В'ячеслав Олександрович. – Хмельницький, 2004. – 262 с.
8. Харжевський В.О. Аналітично-числовий синтез кругових напрямних механізмів на базі шарнірного чотириланкового механізму з використанням точок Бурместера / В. О. Харжевський, Я. Т. Киницкий // Машинознавство. – 2005. – № 4. – С. 26–31.
9. Харжевський В.О. Синтез важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки методами кінематичної геометрії : монографія / В.О. Харжевський. – Хмельницький : РВЦ ХНУ, 2015. – 223 с.
10. Харжевський В.О. Методика визначення особливих точок Чебишева для синтезу важільних прямолінійно-напрямних механізмів / В.О. Харжевський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 3 (225). – С. 34–41.
11. Харжевський В.О. Метод синтезу важільних прямолінійно-напрямних механізмів з використанням точок розпрямлення 5-го порядку / В.О.Харжевський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 5(229). – С. 62–67.
12. Лихтенгельдт В. Синтез механизмов / В. Лихтенгельдт. – М. : Наука, 1964. – 228 с.
13. Gassmann V. Synthese von Geradföhrungen mit ebenen Viereckgetrieben, Hamburg, Universität der Bundeswehr Diss., 2000. – 102 p.

Рецензія/Peer review : 8.9.2016 р. Надрукована/Printed : 12.12.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621. 91.005

І.В. ПЕТКО, Т.Я. БІЛА, В.М. ПАВЛЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РУЙНУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ ШВИДКОПЛИННИМ СТРУМЕНЕМ РІДИНИ

Стаття присвячена дослідженню процесу розрізання матеріалів високошвидкісним струменем рідини. Проведено теоретичні дослідження продуктивності процесу гідрорізання, та розрахунок тривалості оброблення різних матеріалів залежно від величини енергії, що подається на одиницю поверхні матеріалу. Визначено швидкість подачі для композитних та металевих матеріалів залежно від величини тиску робочої рідини та діаметра сопла.

Ключові слова: гідроструменеве оброблення, швидкоплинний струмінь, інтенсифікація, мікрорельєф, напружений стан, сопло, плин рідини, розрізування поверхонь.

I.V. PETKO, T.Y. BILA, V.M. PAVLENKO

Kyiv National University of Technology and Design

THEORETICAL STUDIES OF THE PROCESS OF MATERIAL FRACTURE WITH A RAPID STREAM OF LIQUID

The article investigates the process of cutting the material with high-speed jet of liquid. There have been conducted theoretical research of process performance of water jet, as well as the calculation of the duration of various material processing, depending on the amount of energy supplied per unit of material surface. The feed rate for composite and metallic materials has been determined, considering the magnitude of the working fluid pressure and the perimeter of the nozzle.

Key words: water-jet processing, a passing jet, intensification, micro-relief, stress state, the nozzle, and the fluid flow, the cutting surfaces.

Вступ

В сучасних умовах підготовки виробництва основна маса неметалевих матеріалів розрізаються та розкроюються, в основному, механічними ножами. Хоча цим інструментам притаманні великі переваги, але є і немало недоліків, серед яких, в першу чергу, необхідність постійного перезаточування зношеної робочої кромки і, як наслідок, практична неможливість автоматизації процесу на кожній технологічній операції. Розрізання матеріалу високошвидкісним струменем рідини викликає перелічені недоліки, а тому у різних галузях промисловості пристрої для розрізання водяним струменем все частіше застосовуються для оброблення таких матеріалів, як гума, шкіра, пластмаси, картон, азбест тощо.

Постановка завдання

Не дивлячись на ряд експериментальних і теоретичних робіт [1–3], до теперішнього часу не розроблена досить обґрунтована теорія проникнення безперервних швидкоплинних струменів в різні матеріали, що пов'язано з багатогранністю і складністю технологічного процесу, який може включати стискання, розтягування, ерозію, зсув, розтріскування, кавітаційне зношення. Таким чином, будь-яка розроблена математична модель матиме межі застосування.

Метою дослідження є побудова аналітичної моделі різання матеріалів струменем рідини і визначення залежності швидкості горизонтальної подачі матеріалу, що розрізається, від параметрів безперервного швидкоплинного струменя, фізико-механічних властивостей та товщини матеріалу.

Результати дослідження

Для спрощення фізичної моделі процес руйнування матеріалу умовно поділений нами на дві стадії. Для першої стадії, пов'язаної з деформацією поверхні і ущільненням матеріалу, отримані аналітичні вирази для визначення часу t_1 і швидкості v_1 проникнення струменя в матеріал [4].

Друга стадія процесу характеризується утворенням тріщин в зоні пластичної деформації і подальшим розділенням матеріалу за рахунок їх розвитку і злиття. При цьому оброблювана поверхня знаходиться під дією пластичних деформацій, деформацій зсуву і сколювання.

Для побудови математичної моделі руйнування матеріалу на другій стадії введемо наступні припущення:

- ріжучий струмінь рідини складається з початкової і основної областей (рис. 1);
- динамічний тиск струменя в межах початкової області дорівнює динамічному тиску струменя на виході з сопла [5];
- руйнування відбувається, за умови, що середній динамічний тиск в поперечному перетині струменя перевищує твердість матеріалу;
- для величини динамічного тиску струменя p_c основної області справедлива рівність

$$p_c = (p_1 - \Delta p_1) \frac{L_n}{L}, \quad (1)$$

де p_1 – динамічний тиск струменя на виході з сопла; Δp_1 – втрати тиску на першій стадії руйнування;

L_n – довжина початкової ділянки струменя; L – відстань від сопла до контактної площини.

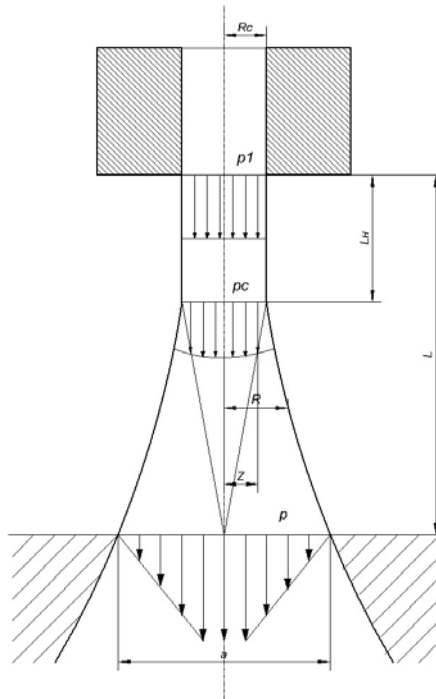


Рис. 1. Схема розширення струменя в повітрі

Якщо припустити, що на першій стадії різання енергія струменя витрачається лише на деформацію матеріалу, то для умов ідеальної пружності запишемо

$$\Delta p_1 = \frac{pv_0^2}{2} - \frac{pv_1^2}{2} = \frac{pv_0^2}{2} (1 - 0.7^2) \approx \frac{1}{2} p_1 \quad (2)$$

Для радіусу струменя R і радіального розподілення динамічного тиску p справедливі рівняння [6]

$$R = \frac{0.335\sqrt{2}}{2} \sqrt{R_c L} \quad (3)$$

$$\frac{Z}{R} = \left(1 - \sqrt{\frac{p}{p_c}} \right)^{2/3} \quad (4)$$

де Z – радіальна відстань від осі струменя до точки прикладення еквівалентної гідродинамічної сили, що діє на матеріал.

Підставивши в рівняння (4) величину p_c з рівняння (1) та з врахуванням рівняння (2), отримаємо

$$Z = R \left(1 - \sqrt{\frac{2pL}{p_1 L_n}} \right)^{2/3} \quad (5)$$

Для ефективної частини струменя радіусом R_e радіальна відстань Z_e від її осі до точки прикладення еквівалентної гідродинамічної сили F , що діє на матеріал, з умови руйнування становить

$$R_e = Z_e = R \left(1 - \sqrt{\frac{2HL}{p_1 L_n}} \right)^{2/3},$$

де H – твердість матеріалу.
Враховуючи формулу (3)

$$R_e = 0.24\sqrt{R_c L} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{2HL}{p_1 L_n}} \right)^{2/3} \quad (6)$$

Якщо виразити еквівалентну гідродинамічну силу F , яка руйнує матеріал, через радіальний розподіл динамічного тиску струменя p , то отримаємо

$$F = \int_0^{R_e} p 2\pi Z dZ \quad (7)$$

З іншого боку, силу F можна виразити через середній динамічний тиск p_e , що створюється ефективною частиною струменя

$$F = \pi R_e^2 p_e \quad (8)$$

З рівнянь (7) і (8) для p_e запишемо

$$p_e = \frac{1}{\pi R_e^2} \int_0^{R_e} p 2\pi Z dZ \quad (9)$$

Після інтегрування виразу (9) з врахуванням рівностей (4), (5) і (6), отримаємо

$$p_e = p_1 \frac{L_n}{L} \left[0.5 - 0.57 \left(1 - \sqrt{\frac{2HL}{p_1 L_n}} \right) + 0.2 \left(1 - \sqrt{\frac{2HL}{p_1 L_n}} \right)^2 \right] \quad (10)$$

Для спрощення подальших обчислень введемо наступні безрозмірні параметри:

$$\varphi = 1 - \sqrt{\frac{2HL}{p_1 L_n}} \quad (11)$$

$$\psi = 0.5 - 0.57\varphi + 0.2\varphi^2 \quad (12)$$

Визначимо втрати тиску Δp_f струменя на тертя об бічні стінки оброблюваного матеріалу. Скориставшись рівняннями гідравліки для потоку рідини в циліндровій трубі, з врахуванням контакту з площею напівциліндра отримаємо

$$\Delta p_f = \lambda_f \frac{h - h_{ym}}{2R_e} \cdot \frac{\rho v_1^2}{2} = \frac{\lambda_f}{4} p_1 \frac{h - h_{ym}}{R_e} \quad (13)$$

де Δp_f – коефіцієнт гідравлічного опору;
 h – товщина оброблюваного матеріалу.

Щоб наочніше представити процес руйнування матеріалу під дією струменя рідини, виділимо об'єм з області різання, що має одну вертикальну рухоми контактну поверхню S . Оскільки глибина проникнення струменя в матеріал за малий інтервал часу значно більше його горизонтального переміщення, обумовленого швидкістю подачі, контактну площину взаємодії струменя з матеріалом можна умовно вважати нерухомою в горизонтальній площині практично для всіх випадків різання швидкоплинним струменем. Горизонтальна швидкість подачі зразка апроксимується послідовністю ступенів (розміри яких відповідають діаметру сопла) за період часу, потрібний для наскрізного прорізання матеріалу.

Представимо ріжучий струмінь рідини сукупністю елементарних струменів масою dm , кожен з яких руйнує матеріал товщиною dh (рис. 2). При цьому залишкова кінетична енергія струменя визначається критичною швидкістю v_c .

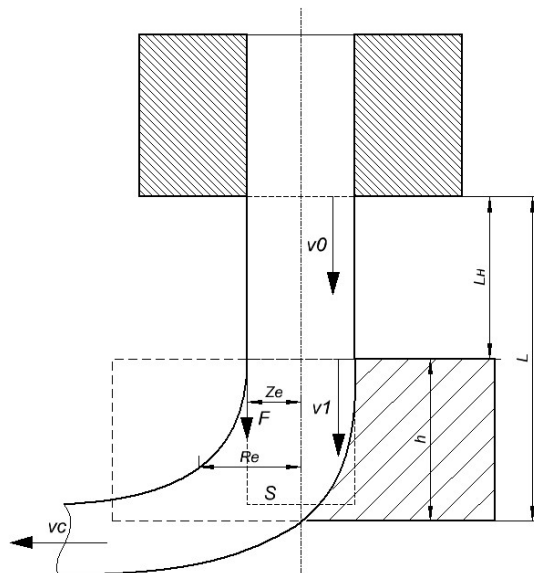


Рис. 2. Схема взаємодії струменя рідини з оброблюваним матеріалом

Використовуючи рівняння Бернуллі для тиску на площині контакту, з умови різання визначимо швидкість v_c , при якій припиняється процес руйнування матеріалу

$$v_c = \sqrt{\frac{2H}{\rho}} \quad (14)$$

Прирівнявши втрати кінетичної енергії струменя і роботу гідродинамічних сил для подолання опору матеріалу на ділянці dh , отримаємо

$$\frac{dm(v^2 - v_c^2)}{2} = \int_{L+dh}^L F_c dh \quad (15)$$

де F_c – сила, яка визначається контактним тиском,

$$F_c = \pi H R_e^2 \quad (16)$$

За час dt через вихідний отвір сопла пройде маса рідини

$$dm = \pi R_c^2 \rho_e v_0 dt \quad (17)$$

Після інтегрування і підстановки значення сили F_c з рівняння (16) і dm з (17) вираз (15) приймає вигляд

$$R_c^2 v_0 \left(\frac{pv^2}{2} - \frac{pv_c^2}{2} \right) dt = H R_e^2 dh \quad (18)$$

З отриманої рівності знайдемо час dt , який буде потрібен для руйнування матеріалу товщиною dh

$$dt = \frac{H R_e^2 dh}{(p_e - H) R_c^2 v_0} \quad (19)$$

З рівняння (19) випливає, що повний час проникнення струменя крізь матеріал на другій стадії руйнування дорівнює

$$t_2 = \frac{H R_e^2 (h - h_{yn})}{(p_e - H) R_c^2 v_0} \quad (20)$$

де h_{yn} – глибина пружної деформації матеріалу під дією струменя.

З врахуванням виразу (13) для втрат гідравлічного тиску струменя на тертя об стінки оброблюваного матеріалу рівняння (20) прийме вигляд

$$t_2 = \frac{H R_e^2 (h - h_{yn})}{\left(p_e - 0.25 p_1 \lambda_f \frac{(h - h_{yn})}{R_e} - H \right) R_c^2 v_0} \quad (21)$$

Підсумовуючи значення часу на першій ($t_1 = 1.42 h_{yn} / v_0$) і другій стадіях (21), отримаємо час t наскрізного прорізання матеріалу товщиною h

$$t = 1.42 \frac{h_{yn}}{v_0} + \frac{H R_e^2 (h - h_{yn})}{\left(p_e - \frac{p_1 \lambda_f (h - h_{yn})}{4 R_e} - H \right) R_c^2 v_0} \quad (22)$$

За період часу t матеріал переміститься в горизонтальному напрямку на відстань $2R_c$. Тоді, з врахуванням виразів (11) і (12) для швидкості подачі зразка запишемо

$$U = \frac{2R_c}{t} = \frac{2 \frac{R_c \rho_e^{0.5}}{\rho_1^{0.5}}}{h_{yn} + \frac{5.6 \cdot 10^{-2} H L (h - h_{yn}) \phi^{4/3}}{R_c \left[p_1 \left(\frac{\psi L_n}{L} - \frac{(h - h_{yn}) \lambda_f}{\sqrt{R_e L \phi^{2/3}}} \right) - H \right]}} \quad (23)$$

Використовуючи отриману залежність нами побудовано, в якості прикладу, визначення швидкості подачі для композиційних (рис.3) та металевих матеріалів (рис. 4, та рис. 5) .

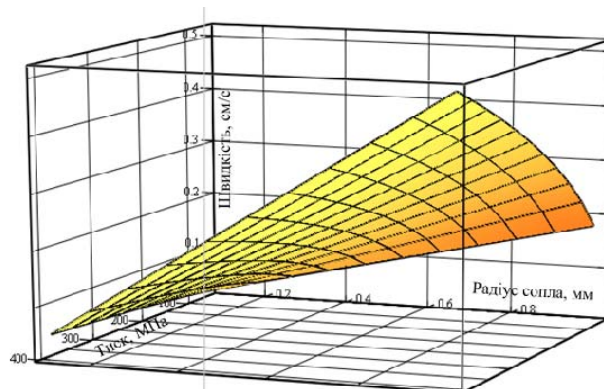


Рис. 3. Діаграма визначення швидкості подачі для композиційних матеріалів товщиною 6 мм

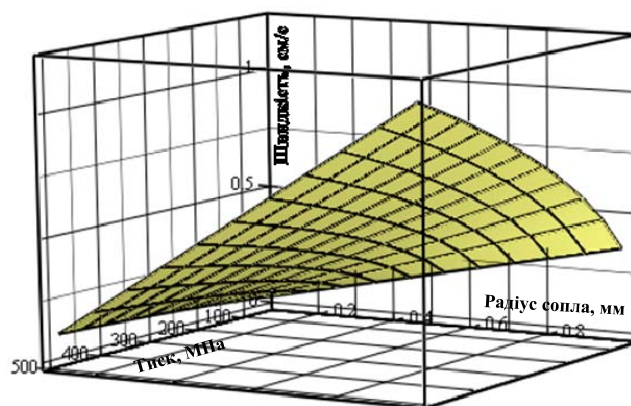


Рис. 4. Діаграма визначення швидкості подачі для листового алюмінію товщиною 5 мм

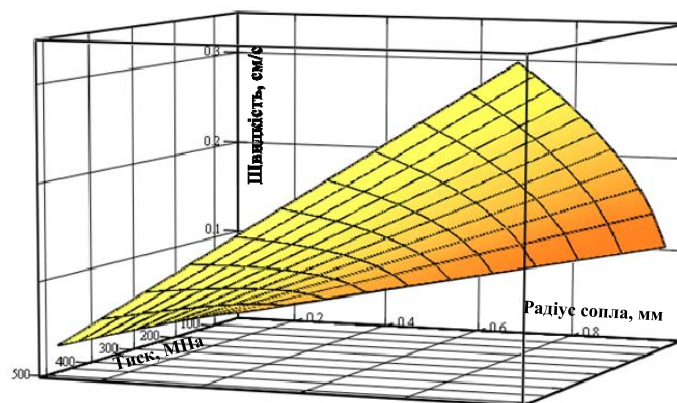


Рис. 5. Діаграма визначення швидкості подачі для листової сталі товщиною 5 мм

При радіусі сопла 0,4 мм та тиску 200 МПа швидкість подачі листового матеріалу під час процесу різання становить: для композиційних матеріалів (рис. 3) 0,2 см/с; для алюмінію 0,3 см/с (рис. 4), для сталі 0,1 см/с (рис. 5).

Висновки

Змінюючи величину тиску робочої рідини або діаметр сопла, тобто змінюючи величину енергії, що подається, на одиницю поверхні матеріалу, можна у кожному конкретному випадку розрахувати тривалість оброблення різних матеріалів, а отже, і продуктивність процесу гідрорізання.

Література

1. Саленко А.Ф. Качество обработки материалов гидроабразивной струей / А.Ф. Саленко, Е.В. Фомовская // Оборудование и инструмент. – Харьков, 2008. – № 6. – С. 12–18.
2. Клапцов Ю.В. Визначення конструктивних параметрів струменеформуючого пристрою / Ю.В. Клапцов, І.В. Панасюк, І.В. Петко // ВІСНИК Хмельницького національного університету. – 2013. – № 3. – С. 115–118.
3. Павленко В.М. Пристрій для підвищення якості гідрорізання листових композитних матеріалів / В.М. Павленко, І. В.Петко // ВІСНИК КНУТД. – 2013. – № 1. – С. 59–63.
4. Петко І.В. Моделювання процесу розрізання матеріалу швидкоплинним струменем рідини / І.В. Петко, І.Б. Чернявський // ВІСНИК КНУТД. – 1992. – № 5. – С. 123–128.
5. Клапцов Ю.В. Розробка струменеформуючих пристроїв для розрізання матеріалів легкої промисловості гідро- та гідроабразивним струменем : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.05.10. – К., 2007. – 20 с.
6. Саленко О.Ф. Гідро- та гідроабразивна обробка: теорія, технологія та обладнання : навч. посібник / О.Ф. Саленко, І.В. Петко, О.В. Третяков. – К. : ІЗМН, 1999. – 488 с. : іл.

Рецензія/Peer review : 1.12.2016 р.

Надрукована/Printed : 12.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор Злотенко Б.М.

УДК 685.31

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

Київський національний університет технологій та дизайну

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РОБОТИ НИТКОНАТЯГУВАЧІВ ТЕКСТИЛЬНИХ МАШИН

В роботі наведені результати по визначенню натягу нитки, яка взаємодіє з різними типами нитконатягувачів з урахуванням її реальних фізико-механічних властивостей. При проведенні досліджень використовувалися шайбовий, пальцьовий та модернізований пальцьовий нитконатягувачі. Отримані результати використовувалися для удосконалення технологічних процесів текстильної промисловості.

Ключові слова: нитка, нитконатягувач, тертя, діаметр поперечного перетину.

V.YU. SHERBAN, N.I. MURZA, A.N. KIRICHENKO, M.I. SHOLUDKO

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

COMPARATIVE ANALYSIS OF WORK OF TENSIONER OF TEXTILE MACHINES

Presence of breakages of filaments speaks the process equipment imperfection of a design of devices for a filament tension, and it, in turn, leads to idle times of the process equipment and decrease in quality of released products. Research of working conditions of devices for a filament tension allows to design feeding systems of filaments on the modern process equipment taking into account real physicomachanical properties, in particular irregularity of diameter of filaments of their structure and a material. Thus the theme of given paper is actual processes of the textile and knitting industry of great importance for development. Subjects and research methods. Devices for a filament tension are a component of a feeding system of a filament on the process equipment. Development of their design allows to stabilise a filament tension on the process equipment. A theoretical basis at the solution of a scientific and technical problem are works in the field of production engineering of textile and knitted manufactures, materials technology, mechanics of a filament, theory of elasticity, mathematical modelling. In theoretical researches methods of theoretical mechanics, a strength of materials, design of experiments and statistical machining of results of research are used. Applied value. The gained results allow to develop process of rehash of a filament on the process equipment, to lower quantity of breakages of filaments, to improve quality of finished articles.

Keywords: filament, the device for filament tension, friction, diameter of cross-section.

Вступ

Актуальність. Обривність ниток при переробці на технологічному устаткуванні пов'язана з недосконалістю системи ниткоподачі і її складових елементів – нитконатягувачів, напрямних поверхонь, компенсаторів натягу. Найбільше число обривів випадає на зону розташування нитконатягувачів [1]. Дослідження впливу конструкції нитконатягувача на умови його взаємодії з ниткою, з урахування її реальних фізико-механічних властивостей, структури та матеріалу, зокрема її нерівномірності по діаметру поперечного перетину мають важливе значення для удосконалення технологічних процесів текстильної та швейної промисловості з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості випускаємої продукції [1, 2]. Таким чином, тема даної статті є актуальною, яка має важливе значення для удосконалення конструкції існуючих нитконатягувачів та розробки нових.

Об'єкти і методи дослідження. Нитконатягувальні пристрої є складовою частиною системи ниткоподачі технологічного устаткування текстильної промисловості. Недосконалість конструкції нитконатягувачів призводить до коливання натягу нитки в процесі її переробки на технологічному устаткуванні та порушенню технологічного режиму. В першу чергу, на це впливає нерівномірність нитки по діаметру, що зумовлено її структурою і матеріалом, специфікою виготовлення нитки, довжиною окремих філаментів та їх взаємним розташуванням відносно один до одного [1]. Теоретичною основою при вирішенні науково-технічної проблеми є праці провідних вчених в галузях технології текстильного та трикотажного виробництва, текстильного матеріалознавства, механіки нитки, теорії пружності, математичного моделювання. У теоретичних дослідженнях використано методи теоретичної механіки, опору матеріалів, планування експерименту та статистичної обробки результатів досліджень.

Постановка завдання

Провести порівняльний аналіз роботи трьох нитконатягувачів (шайбового, пальцьового та модернізованого пальцьового) текстильних машин з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей, структури та матеріалу нитки, зокрема її нерівномірності по діаметру поперечного перетину при умові постійного значення вхідного натягу.

Основна частина

На рис. 1а представлена залежність поперечного перетину вовняної пряжі 29,9 текс довжиною 1 м. Аналіз показує, що апроксимувати нерівномірність поперечного перетину можна за допомогою наступного поліному [1]

$$d_n = 2r_n = \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t), \quad (1)$$

де a_i, b_i – амплітуди зміни i -ї гармоніки поперечного перетину; ω_i – частота зміни поперечного перетину i -ї гармоніки; n – число гармонік; t – час.

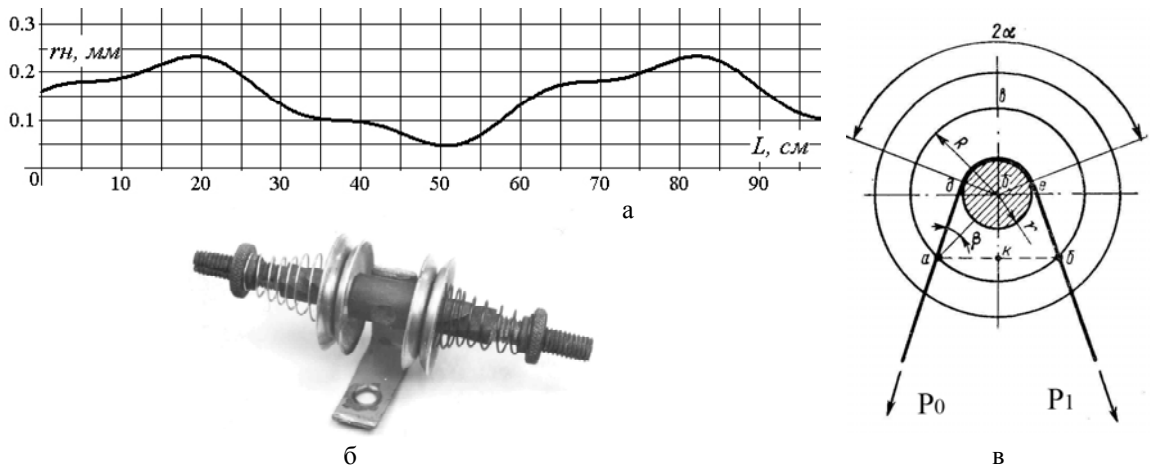


Рис. 1. Графічна залежність зміни поперечного перетину нитки та схема шайбового нитконатягувача

На рис. 1 б, в представлені загальний вигляд та розрахункова схема шайбового нитконатягувача.

Визначимо значення вихідного натягу нитки P_1 з урахуванням нерівномірності нитки по діаметру, що зумовлено її структурою і матеріалом, специфікою виготовлення нитки, довжиною окремих філаментів та їх взаємним розташуванням відносно один до одного. При цьому будемо рахувати вхідний натяг нитки P_0 незмінним. Зростання натягу нитки відбувається за рахунок контакту (рис. 1а) нитки з верхньою та нижньою шайбами в точках a, b та контактом нитки з направляючим стрижнем по дузі de . За рахунок сил тертя в зонах контакту буде відбуватися зростання натягу. Розглядаючи рівновагу верхньої шайби, використовуючи основні рівняння статки для просторової паралельної системи сил, визначимо значення нормального тиску в точці a , який буде дорівнювати нормальному тиску в точці b

$$Ok = R \sin(\beta - \alpha), \quad \sin \beta = \frac{r}{R}, \quad p_a = p_b = \frac{0,5NR}{Ok + R}, \quad N = c(\lambda + d_n), \quad (2)$$

де R – радіус кола контакту між верхньою та нижньою шайбами; α – половина кута охоплення ниткою циліндричного направляючого стрижня; r – радіус циліндричного направляючого стрижня; p_a, p_b – нормальний тиск в точках a, b ; N – сила нормального тиску пружини на верхню шайбу; c – коефіцієнт жорсткості пружини; λ – необхідна деформація пружини для забезпечення відповідної сили тертя. Необхідно зазначити, що у виразі (2) необхідно враховувати деформацію поперечного перетину нитки в точках a, b з урахуванням ширини площини контакту, модуля пружності нитки на зминання [1]. Але в умовах нашої задачі цим можна знехтувати і використовувати безпосередньо величину поперечного перетину r_n . З урахуванням (2) остаточно отримаємо формулу для визначення вихідного натягу нитки P_1

$$P_1 = P_0 \left[1 - \frac{r + r_n}{r} (1 - e^{2\mu_2 \alpha}) \right] + \frac{\mu_1 c (\lambda + d_n) \left[2 - \frac{r + r_n}{r} (1 - e^{2\mu_2 \alpha}) \right]}{1 + \sin(\alpha - \beta)}. \quad (3)$$

де μ_1 – коефіцієнт тертя між поверхнями верхньої та нижньої шайб та ниткою; μ_2 – коефіцієнт тертя між поверхнею циліндричного напрямного стрижня та ниткою.

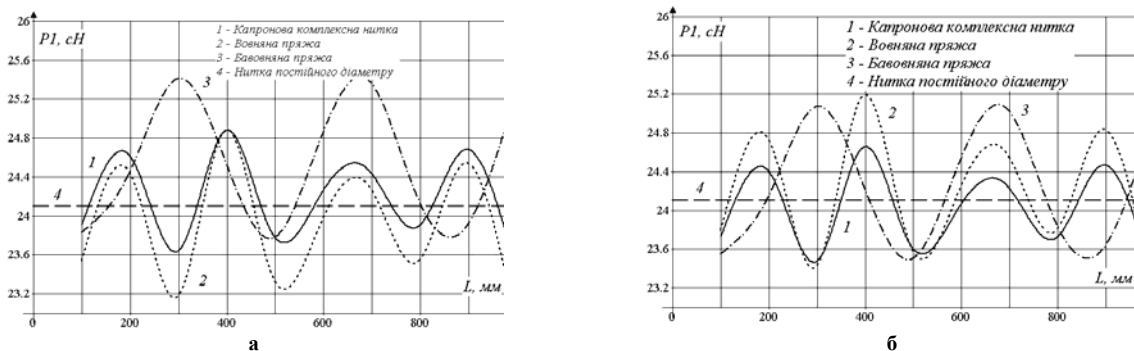


Рис. 2. Залежності зміни натягу

Для капронової комплексної нитки 28 текс, бавовняної пряжі 27,6 текс, вовняної пряжі 29,9 текс, з використанням (1) та (3), був визначений вихідний натяг нитки P_1 . По результатам розрахунків були

побудовані графічні залежності, які представлені на рис. 2а. Аналіз показав, що найбільша нерівномірність натягу спостерігається для бавовняної та вовняної пряжі. Це пояснюється специфікою виготовлення нитки, довжиною окремих філаментів та їх взаємним розташуванням відносно один до одного.

На рис. 3а представлені загальний вигляд та розрахункова схема пальцевого нитконатягувача. Нитка послідовно проходить скрізь отвір у правому диску, огинає поверхню направляючого циліндру(пальця) та виходить скрізь отвір у лівому диску.

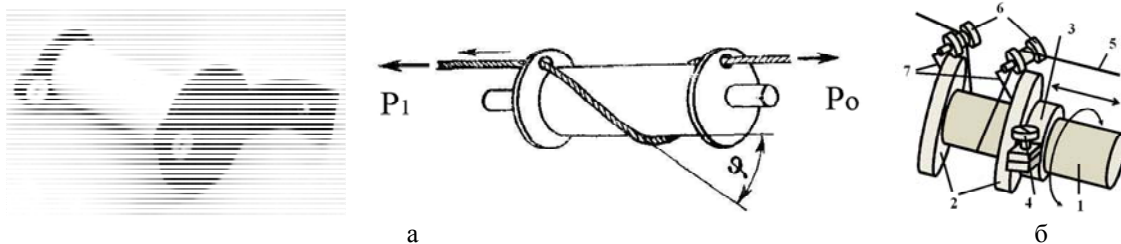


Рис. 3. Пальцевий та модернізований палецьовий нитконатягувач

Формула для визначення вихідного натягу нитки P_1 буде мати вигляд

$$P_1 = P_0 \left[1 - \frac{r + r_n}{r} (1 - e^{\mu_3 \gamma_1}) \right] e^{2\pi k \mu_4 \sin \varphi} \left[1 - \frac{r + r_n}{r} (1 - e^{\mu_3 \gamma_2}) \right], \quad (4)$$

де μ_3, μ_4 – коефіцієнти тертя відповідно між ниткою та поверхнею отворів та направляючого циліндру(пальця); γ_1, γ_2 – кути огинання ниткою направляючих поверхонь отворів на вході та виході з нитконатягувача; k – кількість повних обертів нитки навколо направляючого циліндру; φ – кут нахилу вісі нитки до утворюючої направляючого циліндру.

По результатам розрахунків за формулою (4), для капронової комплексної нитки 28 текс, бавовняної пряжі 27,6 текс, вовняної пряжі 29,9 текс, були побудовані графічні залежності, які представлені на рис. 2б. Аналіз показав, що найбільша нерівномірність натягу, як і для шайбового нитконатягувача, спостерігається для бавовняної та вовняної пряжі.

На рис. 3б представлені загальний вигляд модернізованого пальцевого нитконатягувача. Нитка послідовно проходить огинаючи направляючий ролик на підшипниках на правому диску, огинає поверхню направляючого циліндру(пальця) та виходить огинаючи направляючий ролик на підшипниках на лівому диску. Нитка 5 огинає послідовно встановлений на кронштейні 7 правий направляючий ролик в підшипниках 6 бокову поверхню циліндру 1 та встановлений на кронштейні 7 лівий направляючий ролик в підшипниках 6 та поступає в зону в'язання. При необхідності зменшення вихідного натягу нитки за допомогою регулюючого гвинта 4 вивільняється прижимна муфта 3 і правий диск 2 зсувається відносно образуючої циліндра 1 вправо та обертається відносно вісі циліндру 1 проти годинникової стрілки. При необхідності збільшення вихідного натягу нитки за допомогою регулюючого гвинта 4 вивільняється прижимна муфта 3 і правий диск 2 зсувається відносно образуючої циліндра 1 вліво та обертається відносно вісі циліндру 1 за годинниковою стрілкою.

Формула для визначення вихідного натягу нитки P_1 буде мати вигляд

$$P_1 = P_0 e^{2\pi k \mu_4 \sin \varphi}. \quad (5)$$

Результати розрахунків за формулою (5) представлені на рис. 2а, 2б у вигляді прямої 4. Шляхом огинання ниткою поверхні направляючого циліндру створюється необхідна сила тертя, яка забезпечує на виході створення вихідного натягу P_1 . Відсутність на шляху нитки направляючих поверхонь великої кривизни, шляхом заміни отворів в дисках на направляючі ролики в підшипниках, виключає вплив на зростання натягу нитки змінання в зоні контакту [1]. Таким чином, модернізація нитконатягувача дозволяє стабілізувати натяг нитки в процесі її переробки на технологічному обладнанні.

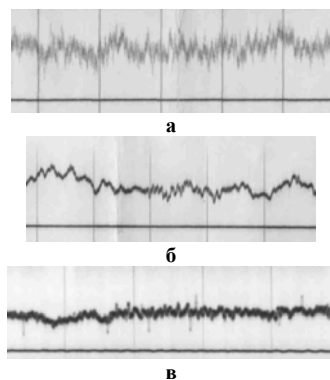


Рис. 4. Зразки осцилограм

Для оцінки коректності зроблених припущень при побудові математичних моделей нитконатягувачів в роботі була реалізована серія експериментальних досліджень, з використанням розробленої електро-тензометричної установки, для визначення вихідного натягу нитки після нитконатягувача. На рис. 4 представлені зразки осцилограм: 4а – для вовняної пряжі 29,9 текс; 4б – для бавовняної пряжі 27,6 текс; 4в – для капронової комплексної нитки 28 текс. Результати експериментальних досліджень наведені в таблиці 1.

Аналіз даних таблиці 1 показує, що найменшу нерівномірність натягу має модернізований палецьовий нитконатягувач 1,2-2,5%, що майже в три рази менше ніж у шайбового та пальцевого

нитконатягувачів. Це пояснюється тим, що в цих конструкціях присутні ділянки, де відбувається контакт нитки з напрямними великої кривизни, а при цьому виникає додаткове зростання натягу завдяки зминанню. Це явище ще більше посилюється завдяки нерівномірності нитки за діаметром. На ділянках, де присутні шишки, потовщення зростання натягу буде мати стрибкоподібний характер.

Висновки

Проведений порівняльний аналіз роботи трьох нитконатягувачів (шайбового, пальцевого та модернізованого пальцевого) текстильних машин з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей нитки, зокрема її нерівномірності по діаметру поперечного перетину при умові постійного значення вхідного натягу. Результати теоретичних досліджень порівнювалися з експериментальними даними, отриманими з використанням спеціальної електро-тензометричної установки, для оцінки коректності зроблених припущень при побудові математичних моделей нитконатягувачів. Порівняльний аналіз показав, що похибка знаходиться в межах 3–6%.

Отримані результати дозволили встановити, що найбільшу нерівномірність натягу отримаємо у пальцевого нитконатягувача – 7,8% для вовняної пряжі 29,9 текса. Для шайбового нитконатягувача нерівномірність натягу склала 7,5%, а нерівномірність натягу при використанні модернізованого пальцевого нитконатягувача склала 2,5% для вовняної пряжі 29,9 текс, що майже в 3 рази менше ніж у випадку використання пальцевого нитконатягувача.

Таблиця 1

Результати експериментального визначення натягу для різних типів нитконатягувачів

Тип нитконатя- гувача	Вид нитки	Натяг нитки P_l , сН										Нерів- номір- ність натягу, %
		Відстань на ділянці нитки L , мм										
		100	199	298	397	496	595	694	793	892	991	
Шайбовий	Капро- нова	23.91	24.61	23.64	24.87	23.80	24.23	24.46	23.88	24.68	23.58	5,4
	Бавов- няна	23.83	24.44	25.41	24.56	23.77	24.80	25.39	24.20	23.87	25.15	6,8
	Вов- няна	23.53	24.44	23.16	24.87	23.36	23.92	24.30	23.52	24.54	23.06	7,5
Пальцевий	Капро- нова	23.73	24.40	23.47	24.65	23.62	24.03	24.26	23.70	24.46	23.41	5,2
	Бавов- няна	23.55	24.14	25.06	24.25	23.49	24.48	25.05	23.91	23.58	24.81	6,5
	Вов- няна	23.79	24.73	23.41	25.18	23.61	24.19	24.59	23.77	24.83	23.31	7,8
Модернізован- ий пальцевий	Капро- нова	24.2	24.1	24.2	24.3	24.2	24.1	24.0	24.2	24.0	24.2	1,2
	Бавов- няна	24.1	24.0	24.2	24.3	24.4	24.1	24.4	24.3	24.2	24.3	1,7
	Вов- няна	24.4	24.2	24.0	24.6	24.4	24.3	24.5	24.0	24.3	24.4	2,5

Встановлена залежність впливу структури та матеріалу нитки на умови її взаємодії з нитконатягувальними пристроями. Найбільше значення натягу отримали для вовняної пряжі, а найменше для капронової комплексної нитки. Це пояснюється специфікою виготовлення нитки, довжиною окремих філаментів та їх взаємним розташуванням відносно один до одного.

Література

1. Щербань В.Ю. Механика нити / В.Ю. Щербань, О.Н. Хомяк, Ю.Ю. Щербань. – К. : Бібліотека офіційних видань, 2002. – 196 с.
2. Калашник В.Ю. Исследование поперечного скольжения нити по направляющей поверхности малой кривизны с учетом анизотропии трения / В.Ю. Калашник, В.Ю. Щербань // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 1. – С. 57–60.

Рецензія/Peer review : 5.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 12.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор В.Г. Здоренко

ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕФОРМУВАННЯ ТОНКОСТІННИХ КОНУСІВ

Розглянуто процес штампування тонкостінних конусів. Характерною його ознакою є наявність високих контактних тисків, які суттєво впливають на міцність інструмента та точність деталей. Найбільш доцільним в цьому випадку є використання технології штампування з крученням. Відомі аналітичні рішення для визначення контактних тисків, що можуть бути використані при розрахунках інструменту, досить складні і не дозволяють в явному вигляді визначити необхідні параметри деформування. Це призводить до необхідності багаторазового виконання обчислень. За результатами проведених досліджень отримали нові співвідношення, що дозволяють врахувати вплив параметрів інструмента і режимів деформування на забезпечення заданого рівня напружено-деформованого стану. Порівняння результатів обчислень показало їх задовільну точність.

Ключові слова: штампування з крученням, тонкостінні конуси, режими деформування, епюра контактних тисків.

V.L. MARCHENKO, V.M. TSYMBALIUK
Khmelnytsky National University

DEFINITIONS OF KINEMATIC PARAMETERS OF THIN-WALLED CONES DEFORMATION

The process of punching thin cones is considered. Its characteristic feature is the presence of high contact pressures that significantly affect the strength of instrument and precision of parts. The most appropriate in this case is the use of stamping with twisting technology. Known analytical solutions for the determination of contact pressures that can be used in the calculations of tool, very complex and do not allow explicitly make deformations settings. This causes to the necessity of multiple computing executions. The results of the research have new correlations which allow for the impact of instrument parameters and regimes of deformation to provide a given level of stress-strain state. Comparison of results of calculations revealed satisfactory accuracy.

Keywords: punching with torsion, thin walled cones, modes of deformation, contact pressure diagrams.

Вступ

Існує декілька технологій, які дозволяють отримати деталі у вигляді тонкостінних конусів. Насамперед це обробка деталей різанням, що передбачає значні витрати матеріалу. При цьому продуктивність процесу є досить низька. Більш доцільним є використання технологій обробки металів тиском, наприклад витяжки. Але це можливо для деталей незначної товщини, які можуть бути виготовлені з листової заготовки. При цьому товщина виробу повинна бути однаковою. В інших випадках можуть бути використані методи об'ємного штампування. Використання традиційних методів штампування в даному випадку обмежено. Деформації інструмента близькі до товщини стінки виробу, а значні по величині напруження розтягу, які виникають в матеріалі штампа, призводять до його крихкого руйнування. Основною проблемою в цьому випадку є наявність значних контактних навантажень на формуютьовуючу поверхню матриці і пуансона, що вимагає забезпечення міцності інструмента та потужності устаткування.

Постановка задачі

Рішення цих задач звичайними методами штампування з поступальним переміщенням повзуна досить складно, а в деяких випадках практично неможливо. Доцільним є використання технології штампування з крученням, яка суттєво дозволяє знизити силові параметри саме при штампуванні тонких деталей. В даній роботі розглянуто можливості використання цієї технології для отримання тонкостінних конусів достатньої точності. Але відсутність простих інженерних методик їх прогнозування ускладнює управління процесом виготовлення.

Питання може бути поставлене в іншому вигляді: визначити режими деформування (в даному випадку параметри кручення), при яких забезпечується задана точність.

Найбільш ефективним способом рішення задачі є обчислення напружено-деформованого стану інструменту. Для цього доцільно використання чисельних методів розрахунку, серед яких перевагу слід віддати методу скінчених елементів. Необхідною передумовою виконання обчислень є наявність граничних умов.

Попередні дослідження

Відомо кілька робіт, в яких виконано аналітичне моделювання процесу деформування заготовки в конічній матриці. Теоретичні дослідження напружено-деформованого стану заготовок цього типу виконано в роботі [1]. Розглянуто заготовки постійної товщини без дна. Отримано співвідношення, які дозволяють визначити навантаження на поверхню штампа.

Аналогічні дослідження виконано для тонкостінних деталей змінної товщини, для яких використання методів листового штампування виявляється ускладненим [2]. В роботі розглядається пластична течія металу в тонкому шарі змінної товщини, який обмежений конічними поверхнями та плоским дном. Автори відмічають, що найбільш важливі результати досягаються при виготовленні особливо

тонких деталей, традиційне штампування яких внаслідок високих тисків на інструмент ($\sigma_n \sim 300 \dots 500$ МПа) в деяких випадках може бути нездійсненним. Зниження навантаження на поверхню штампа при обертанні досягає п'яти і більше разів, що забезпечує навантаження на допустимому за умовами міцності рівні.

Основна частина

Схема заготовки, яка деформується в штампі та прийняті позначення показані на рис. 1. Загальна величина деформації матриці і пуансона не повинна перевищувати допуск на товщину деталі – δ .

Обчислити деформації можна методом скінчених елементів, а контактні навантаження визначити з відомого співвідношення [1]:

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_T} = \frac{2\kappa}{(\kappa^2 + q^2)} \left[\kappa \sqrt{(\kappa+1)^2 + q^2} + \frac{q^2}{\sqrt{\kappa^2 + q^2}} \operatorname{Arsh} \frac{\kappa^2 + \kappa + q^2}{q} - \right. \\ \left. - \kappa \sqrt{(\kappa\rho+1)^2 + q^2\rho^2} - \frac{q^2}{\sqrt{\kappa^2 + q^2}} \operatorname{Arsh} \frac{(\kappa^2 + q^2)\rho^2 + \kappa}{q} \right] - \\ \frac{ctq\alpha}{\sqrt{3}} \left[\frac{\kappa}{\sqrt{\kappa^2 + q^2}} \left(\operatorname{Arsh} \frac{\kappa^2 + \kappa + q^2}{q} \operatorname{Arsh} \frac{(\kappa^2 + q^2)\rho^2 + \kappa}{q} - \right. \right. \\ \left. \left. - \operatorname{Arsh} \frac{(\kappa^2 + q^2)\rho^2 + \kappa}{q} - \operatorname{Arsh} \frac{\kappa+1}{q} + \operatorname{Arsh} \frac{\kappa\rho+1}{q\rho} + 1 \right) \right], \quad (1)$$

де $\kappa = \frac{L}{\sqrt{3}h}$, (L – довжина конусної частини, h – товщина деталі);

σ_T – границя текучості; q – параметр кручення $q = \frac{\omega R}{\sqrt{3}\nu}$; ρ – відносний радіус. Відносна

величина тиску σ_n / σ_T , як видно з виразу (1) змінюється в залежності від радіальної координати r_0 , або координати ν (рис. 1).

Обчислення можуть бути зведені до мінімуму, якщо будуть забезпечені дві умови: параметр кручення повинен в явному вигляді визначатися через контактне навантаження; напружено-деформований стан матриці і пуансона повинен лінійно залежати від величини контактної навантаження.

З цієї метою величини σ_n / σ_T були обчислені для таких значень параметрів: $\kappa = 8; 10; 12; 14; 16; 18$; $q = 1; 10; 20; 30; 50; 100$; $\alpha = 0,26; 0,52; 0,78 \text{ рад}$. За результатами цих обчислень побудовано епюри контактних тисків. Всі графіки близькі до прямих і при $\rho=1$ відносні напруження $\sigma_n / \sigma_T = 1$.

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_T} = \frac{\sigma_n^o}{\sigma_T} - \left(\frac{\sigma_n^o}{\sigma_T} - 1 \right) \rho = \frac{\sigma_n^o}{\sigma_T} (1 - \rho) + \rho, \quad (2)$$

де $\frac{\sigma_n^o}{\sigma_T}$ – величина відносного тиску при $\rho = 0$.

На рисунку 2 показано графіки залежностей $\frac{\sigma_n}{\sigma_T} = f(q)$ при різних значеннях κ, α . Кожну з кривих достатньо точно можна описати гіперболою.

$$\frac{\sigma_n^o}{\sigma_T} = \frac{1}{aq + b}. \quad (3)$$

Коефіцієнти a і b , що залежать від κ і α , легко визначити як параметри прямих

$$Y = \frac{\sigma_T}{\sigma_n^o} = aq + b, \quad (4)$$

в які перетворюються гіперболи заміною координати σ_n^o / σ_T на $Y = \sigma_T / \sigma_n^o$ (рис. 3). Параметр a є кутовим коефіцієнтом прямих, параметр b – це ордината точки перетину прямої з віссю Y .

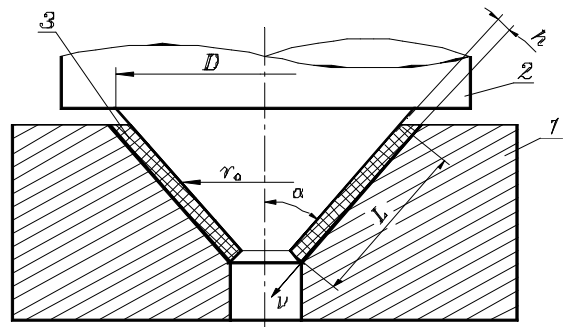


Рис. 1. Схема деформування тонкостінної конічної деталі

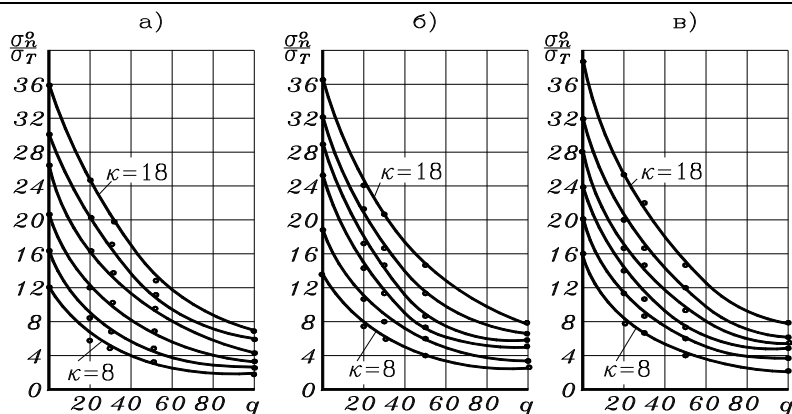


Рис. 2. Графік залежності $\frac{\sigma_n^o}{\sigma_T} = f(q)$:

a - $\alpha = 0,26$ б - $\alpha = 0,52$; в - $0,78$

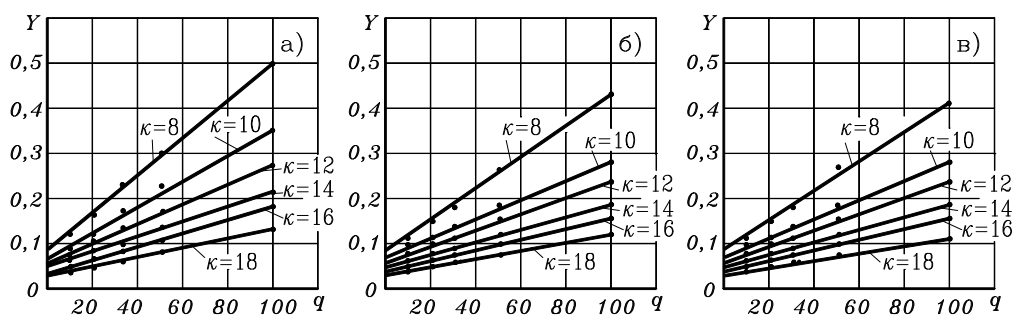


Рис. 3. Графік залежності $Y = f(q)$

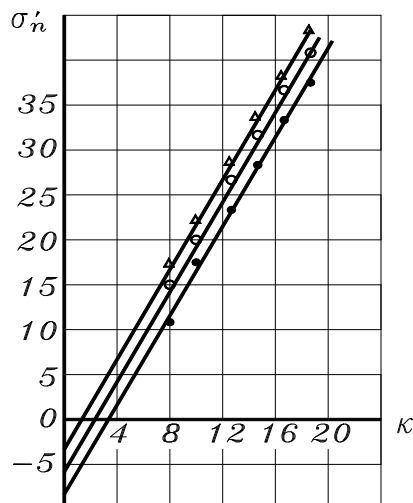


Рис. 4. Графік залежності $\sigma_n' = \phi(\kappa)$:

● - $\alpha = 0,26$, ◻ - $\alpha = 0,52$, Δ - $\alpha = 0,78$ (рад.)

З виразу (4) при $q = 0$ одержимо

$$b = \frac{\sigma_T}{\sigma_n^o} = \frac{1}{\sigma_n'} \quad (5)$$

Для вивчення впливу параметра κ на величину контактного тиску розглянемо графіки $\sigma_n' = \phi(\kappa)$, які приведені на рис. 4. Кожний графік відповідає вказаному на рисунку значенню кута α формоутворюючої поверхні.

Наведені графіки близькі до паралельних прямих з кутовим коефіцієнтом $t = 2,5$ і можуть бути апроксимовані рівнянням

$$\sigma'_n = C(\alpha) + t \cdot \kappa. \quad (6)$$

Значення параметра $C(\alpha)$ можна знайти з графіка на рисунку 5, що відповідає випадку $\kappa = 0$.

Рівняння побудованої для трьох значень α прямої має вигляд

$$C = \sigma'_{n(\kappa=0)} = -10 + 7,4\alpha. \quad (7)$$

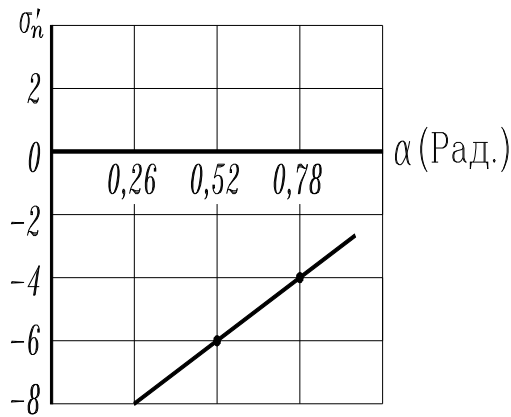


Рис. 5. Залежність $\sigma'_n = f(\alpha)$

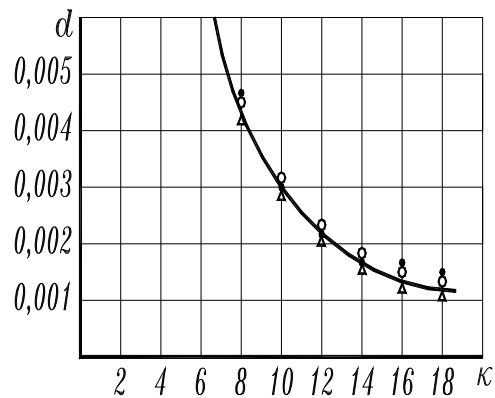


Рис. 6. Залежність $\alpha = f(\kappa)$

• - $\alpha = 0,26$, ◻ - $\alpha = 0,52$, Δ - $\alpha = 0,78$ рад.

Тоді, згідно з (6) $\sigma'_n = -10 + 7,4\alpha + 2,5\kappa$, а враховуючи (5)

$$b = \frac{1}{-10 + 7,4\alpha + 2,5\kappa}. \quad (8)$$

Параметр a дорівнює тангенсу кута нахилу прямих на рисунку 4. Аналіз результатів розрахунків показує, що параметр a практично не залежить від величини кута α нахилу формоутворюючої поверхні. Це демонструє рис. 6.

Точки, що відповідають різним значенням кута α , практично лягають на одну криву, яку досить точно можна апроксимувати гіперболою

$$a = \frac{1}{a'\kappa + b'}. \quad (9)$$

Введемо аналогічно попередньому координату $Y' = 1/a$. Тоді рівняння (9) описує пряму

$$Y' = a'\kappa + b', \quad (10)$$

яка показана на рис. 7.

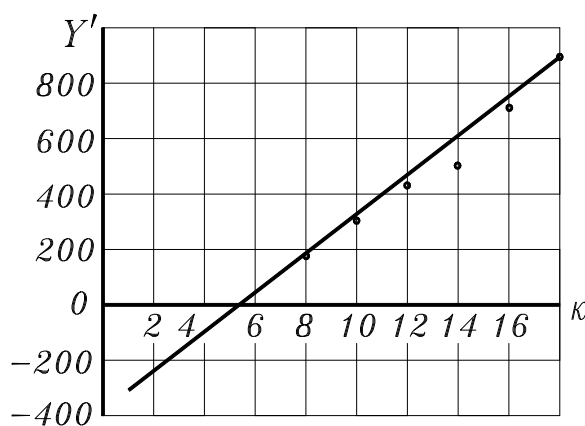


Рис. 7. Графік залежності $Y' = f(\kappa)$

Після визначення параметрів a', b' рівняння цієї прямої набуває вигляду

$$Y' = -360 + 70\kappa, \quad (11)$$

а вираз (9) –

$$a = \frac{1}{-360 + 70\kappa}. \quad (12)$$

Повертаючись до (3), одержимо

$$\frac{\sigma_n^o}{\sigma_T} = \frac{(70\kappa - 360)(-10 + 7,4\alpha + 2,5\kappa)}{q(-10 + 7,4\alpha + 2,5\kappa) + (70\kappa - 360)}. \quad (13)$$

Приймемо позначення:

$$y = -10 + 7,4\alpha + 2,5\kappa ; \\ z = 70\kappa - 360$$

Тоді

$$\frac{\sigma_n^o}{\sigma_T} = \frac{zy}{qy + z}. \quad (14)$$

Після підстановки цього виразу в (2) остаточно одержимо.

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_T} = \frac{zy}{qy + z}(1 - \rho) + \rho. \quad (15)$$

Вирази (14), (15) дозволяють досить просто проаналізувати вплив різних параметрів на величину контактних тисків.

Наприклад, поставимо задачу визначити величину параметра кручення q' , при якому контактні тиски зменшаться в n разів по відношенню до початкового значення параметра q .

Епюри контактних тисків лінійні. Тому для рішення поставленої задачі достатньо використати формулу (15), на основі якої

$$n = \frac{zy}{qy + z} / \frac{zy}{q'y + z} = \frac{q'y + z}{qy + z}.$$

З цього виразу знаходимо

$$q' = nq + \frac{z}{y}(n - 1).$$

Висновки

В результаті проведеного аналізу впливу кінематичних і геометричних параметрів інструмента на силові навантаження при штампуванні тонкостінних конусів отримано нове аналітичне співвідношення, що дозволяє встановити лінійну залежність контактного навантаження від параметру кручення і значно спрощує розрахунок.

Література

1. Субич В.Н. Пластическое деформирование слоя, ограниченного поверхностями вращения / В.Н. Субич, О.А. Ганаго // Труды МВТУ. Машины и технология обработки металлов давлением. – М. : МВТУ 1980. – № 335. – С. 122–137.
2. Субич В.Н. Пластическое течение в осесимметричном слое переменной толщины / В.Н. Субич, Л.И. Рудман // В сб. Обработка металлов давлением в автомобилестроении. – М. : МАИ. 1984. – С. 45–54.

Рецензія/Peer review : 17.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 12.12.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

НАБЛИЖЕНИЙ АНАЛІТИЧНИЙ СИЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ШЕСТИЛАНКОВИХ ВАЖІЛЬНИХ ПЕРЕДАТОЧНИХ МЕХАНІЗМІВ

В роботі розглядається методика наближеного аналітичного силового розрахунку шестиланкових важільних передаточних механізмів, що побудовані на основі кривошипно-повзунного механізму з використанням шатунної кривої. Розроблено алгоритм і програму розрахунку реакцій в кінематичних парах, миттєвого та циклового коефіцієнта корисної дії механізму. Одержані результати таких досліджень дозволяють здійснити попередню розробку конструкції механізму, обчислити маси і моменти інерції ланок, сили інерції та їх моменти, що діють на ланки механізму, та виконати більш точний силовий розрахунок механізму.

Ключові слова: важільні передаточні механізми, реакції в кінематичних парах, коефіцієнт корисної дії механізму.

YA.T. KINYTSKYI, O.V. HOLOVKO

Khmelnytskyi National University

THE APPROXIMATE ANALYTICAL FORCE CALCULATION OF SIX-LINK TRANSMISSION LINKAGE MECHANISMS

The article deals with the method of approximate analytical force calculation of six-link transmission linkage mechanisms which are based on the slider-crank mechanism by means of the coupler curve. The algorithm and the computer program of reaction forces calculation in kinematic pairs, instantaneous and average efficiency factor of mechanism are developed. The received results of the researches allow to perform preliminary development of the mechanisms' design, calculate masses and moments of inertia of links, inertia forces and moments which are acted on mechanisms' links, and to perform more precise force calculation of the mechanism.

Keywords: linkage transmission mechanisms, reactions in kinematic pairs, instantaneous and average efficiency factor of mechanism.

Як відомо [1–2], процес проектування нових механізмів складається з наступних етапів:

1. Вибір структурної схеми механізму, який визначається характером руху вихідної ланки (виконавчого органу);
2. Проектування кінематичної схеми механізму, тобто знаходження його основних параметрів, які забезпечують необхідні кінематичні та динамічні характеристики руху вихідної ланки;
3. Кінематичне дослідження механізму, яке дозволяє визначити переміщення, швидкості та прискорення ланок механізму, значення яких необхідні для подальших розрахунків;
4. Наближений силовий розрахунок механізму, який дозволяє знайти у першому наближенні сили, що діють на ланки механізму, враховуючи лише силове навантаження на вихідну ланку;
5. Попередня розробка конструкції механізму та знаходження мас і моментів інерції ланок, сил інерції та їх моментів, що діють на ланки механізму;
6. Повний силовий розрахунок механізму, який враховує всі сили, що діють на ланки механізму, в тому числі сили тертя в кінематичних парах;
7. Уточнений розрахунок на міцність, жорсткість та інші вимоги до ланок механізму і уточнення конструкції механізму. Пункти 6 і 7 повторяють доти, доки кінцеві результати мало відрізняються від попередніх.

Проектування механізму закінчується експериментальними та виробничими випробуваннями.

В цій роботі розглядається наближений силовий розрахунок шестиланкових важільних передаточних механізмів, що побудовані на основі кривошипно-повзунного механізму з використанням шатунної кривої точки C (рис. 1), кінематичний синтез і аналіз якого наведені в роботах [3, 4]. Механізм складається з кривошипа OA , шатуна AB , повзунів B і C , куліси C_5D , яка здійснює обертовий рух навколо точки D . Для прикладу вибрані такі геометричні параметри механізму: довжина кривошипа OA $r=0,1$ м,

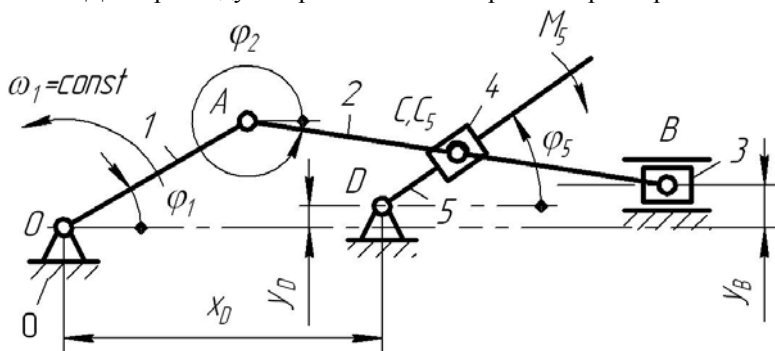


Рис. 1. Кінематична схема механізму

шатуна AB $l=0,2$ м, відрізки – $l_{AC}=0,1$ м; координати точок B і D – $y_B=0,02$ м, $y_D=0,01$ м, $x_D=0,15$ м; кутова швидкість кривошипа OA $\omega_1=1$ с⁻¹; зведений до вихідної ланки момент інерції ведених мас $J_5=0,1$ кг·м².

При силовому розрахунку механізм розбивають на структурні групи. У нашому випадку, механізм складається з

механізму 1-го класу (стояк 0 і кривошип 1), групи 2-го класу 2-го порядку 2-го виду (шатун 2 і повзун 3) та групи 2-го класу 2-го порядку 3-го виду (повзун 4 та куліса 5) [1, 2]. Розрахунок починаємо з останньої структурної групи (4-5).

Силовий розрахунок групи 4-5. До ланок групи прикладаємо всі зовнішні сили (рис. 2), а дію основного механізму замінюємо реакціями R_{42} , яка прикладена в точці C_5 і збігається з точкою C та належить ланці 5, і R_{50} (дія стояка на кулісу). У нашому випадку на ланки групи діє лише одна зовнішня сила, а точніше момент сил інерції вихідної ланки 5 M_5 , що є функцією кута повороту кривошипа 1 і визначається за формулою

$$M_5 = -J_5 \varepsilon_5, \quad (1)$$

де J_5 – зведений до вихідної ланки 5 момент інерції ведених мас; ε_5 – кутове прискорення ланки 5 [3].

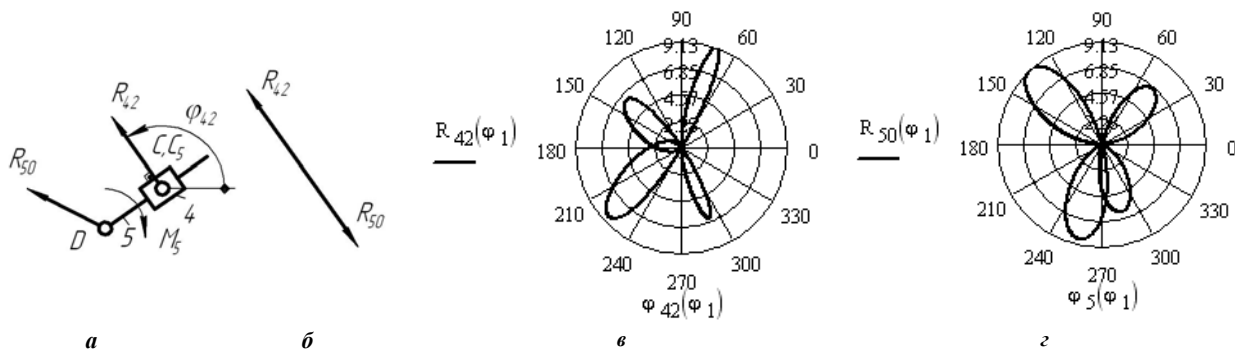


Рис. 2. Силовий розрахунок групи 4-5: а) розрахункова схема; б) план сил; в) годограф реакції R_{42} ; г) годограф реакції R_{50}

Умова рівноваги для цієї групи має вигляд:

$$\bar{R}_{42} + \bar{R}_{50} = 0, \quad (2)$$

звідки маємо, що $\bar{R}_{50} = -\bar{R}_{42}$.

Реакцію R_{42} визначаємо з рівняння рівноваги групи відносно точки D :

$$\Sigma M_D = R_{42} \cdot l_{CD} - M_5 = 0.$$

Тоді

$$R_{42} = M_5 / l_{CD}, \quad (3)$$

де (рис. 1) $x_C = r \cos \varphi_1 + l_{AC} \cos \varphi_2$, $y_C = r \sin \varphi_1 + l_{AC} \sin \varphi_2$.

Кут нахилу реакції $\bar{R}_{42}$ визначається кутом $\varphi_{42} = \varphi_5 - \pi/2$.

Силовий розрахунок групи 2-3. До ланок групи прикладаємо всі зовнішні сили (рис. 3, а), а дію основного механізму замінюємо реакціями $\bar{R}_{21}$, яка прикладена в точці A (дія кривошипа 1 на шатун 2), та $\bar{R}_{30}$ (дія стояка 0 на повзун 3). У нашому випадку на ланки групи діє лише одна зовнішня сила – реакція $\bar{R}_{24} = -\bar{R}_{42}$.

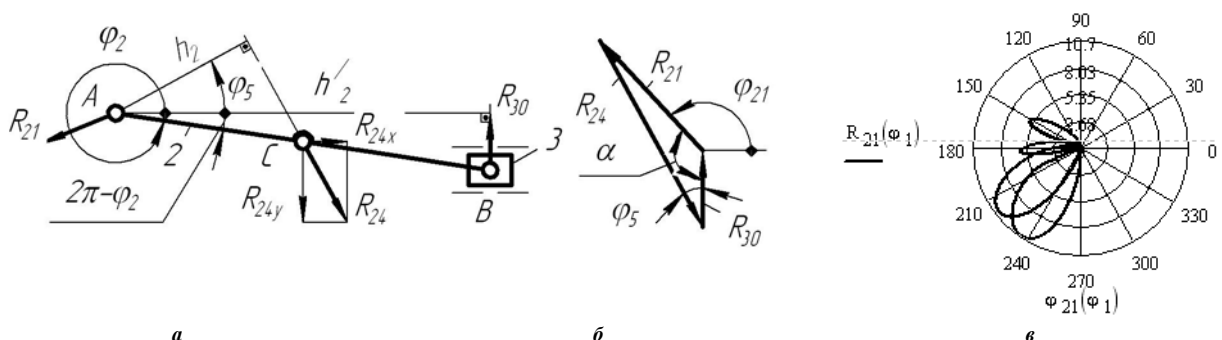


Рис. 3. Силовий розрахунок групи 2-3: а) розрахункова схема; б) план сил; в) годограф реакції R_{21}

Умова рівноваги для цієї групи має вигляд:

$$\bar{R}_{21} + \bar{R}_{24} + \bar{R}_{30} = 0. \quad (4)$$

Для побудови плану сил в рівнянні (4) повинно залишатися лише дві невідомі величини, а тут є три:

величина та напрямок реакції $\bar{R}_{21}$ та напрямок реакції $\bar{R}_{30}$, величину якої визначаємо, склавши рівняння рівноваги для групи відносно точки A :

$$\Sigma M_A = -R_{24} \cdot h_2 + R_{30} \cdot h'_2 = 0,$$

де $h_2 = l_{AC} \cos(\varphi_5 + 2\pi - \varphi_2)$, $h'_2 = l_{AB} \cos(2\pi - \varphi_2)$.

Тоді

$$R_{30} = R_{24} h_2 / h'_2 \quad (5)$$

На підставі рівняння (4) на рис. 3, б побудовано план сил для цієї групи, з якого маємо:

$$R_{21} = \sqrt{R_{24x}^2 + (R_{24y} - R_{30})^2}, \quad (6)$$

де $R_{24x} = |R_{24}| \sin \varphi_5$, $R_{24y} = |R_{24}| \cos \varphi_5$.

Напрямок вектора $\bar{R}_{21}$ визначається кутом $\varphi_{21} = \frac{3}{2}\pi - \alpha$, де $\alpha = \arccos \frac{R_{21}^2 + R_{30}^2 - R_{24}^2}{2|R_{21}R_{30}|}$.

Сильовий розрахунок механізму 1-го класу. У нашому випадку на кривошип 1 діє лише одна сила – реакція $\bar{R}_{12} = -\bar{R}_{21}$ (рис 4). Дію стояка на кривошип замінюємо реакцією $\bar{R}_{10}$. Для рівноваги кривошипа до нього необхідно прикласти зрівноважувальну силу $\bar{F}_{зр}$, яку прикладемо в точці A перпендикулярно OA .

Тоді рівняння рівноваги для кривошипа має вигляд:

$$\bar{R}_{12} + \bar{F}_{зр} + \bar{R}_{10} = 0. \quad (7)$$

В цьому рівнянні маємо три невідомі параметри: величину зрівноважувальної сили $\bar{F}_{зр}$ та величину і напрямок реакції $\bar{R}_{10}$. Для знаходження величини зрівноважувальної сили складаємо рівняння рівноваги кривошипа відносно точки O :

$$\Sigma M_O = F_{зр} r - R_{12} h_1 = 0,$$

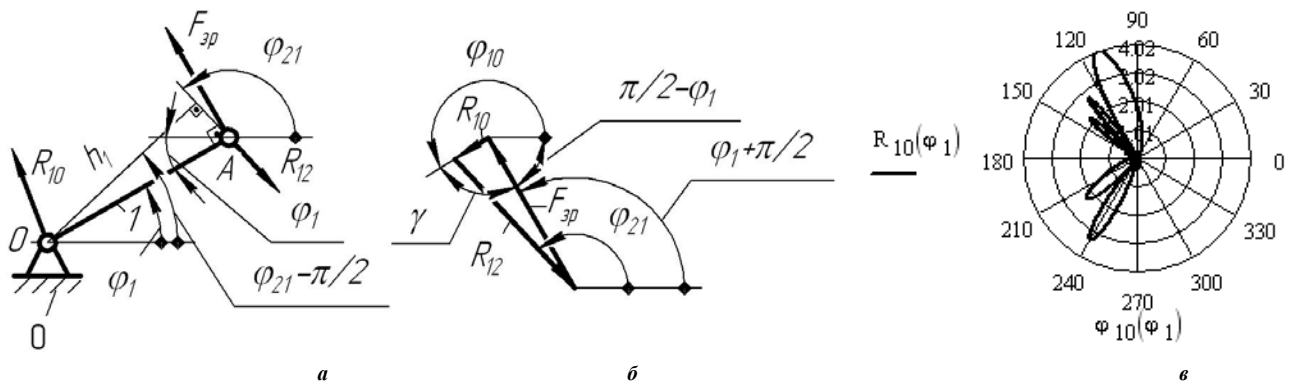


Рис. 4. Сильовий розрахунок механізму 1-го класу: а) розрахункова схема; б) план сил; в) годограф реакції R_{10}

звідки

$$F_{зр} = R_{12} h_1 / r, \quad (8)$$

де

$$h_1 = r \cos(\varphi_{21} - \frac{\pi}{2} - \varphi_1).$$

Використовуючи рівняння (7), будемо план сил (рис. 4, б), з якого знаходимо:

$$R_{10} = \sqrt{R_{12}^2 + F_{зр}^2 - 2R_{12}F_{зр} \cos(\varphi_{21} - \varphi_1 - \pi/2)}. \quad (9)$$

Напрямок вектора $\bar{R}_{10}$ визначається кутом $\varphi_{10} = \frac{3}{2}\pi - \gamma + \varphi_1$, де $\gamma = \arccos \frac{R_{10}^2 + F_{зр}^2 - R_{12}^2}{2|R_{10}F_{зр}|}$.

Визначення коефіцієнта корисної дії. Миттєвий коефіцієнт корисної дії знаходимо за формулою [1,2]

$$\eta_i = P_{oi} / P_{pi}, \quad (10)$$

де P_{oi} – потужність, яку необхідно затратити на перемагання сил опору в i -му положенні механізму;

P_{pi} – потужність рушійних сил, які приводять у рух механізм у цьому ж положенні механізму.

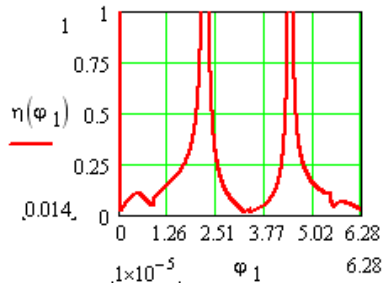


Рис. 5. Діаграма миттєвого коефіцієнта корисної дії механізму

тертя в кінематичних парах. Наші обчислення проведені при наступних значеннях: $f = 0,1$; $r_O = r_A = \dots = r_D = 0.005$ м.

Цикловий коефіцієнт корисної дії знаходимо за формулою:

$$\eta = \frac{\sum \eta_i}{N}, \quad (13)$$

де N – кількість розрахункових положень механізму.

Висновок. На підставі викладеного алгоритму складена комп'ютерна програма в системі Mathcad [5] та проведені аналітичні розрахунки реакцій в кінематичних парах, побудовані їх діаграми або годографи (див. рис. 2 – 4), визначені миттєві коефіцієнти корисної дії (рис. 5) та їх середнє арифметичне значення (цикловий коефіцієнт корисної дії – при заданих параметрах механізму $\eta = 0,6$). Одержані результати таких досліджень дозволяють здійснити попередню розробку конструкції механізму, обчислити маси і моменти інерції ланок, сили інерції та їх моменти, що діють на ланки механізму, та виконати більш точний силовий розрахунок механізму.

Література

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М. : Наука, 1988. – 640 с.
2. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин / Я.Т. Кіницький – К. : Наукова думка, 2002. – 660 с.
3. Кіницький Я.Т. Використання шатунних кривих для проектування двокривошипних важільних механізмів з регульованою амплітудою коливання кутової швидкості вихідної ланки / Я.Т. Кіницький, О.В. Головка, М.В. Марченко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 3. – С. 19–21.
4. Пат. № 98746 України, МПК кл. F16H 25/00. Спосіб використання шатунних кривих для проектування двокривошипних важільних механізмів з регульованою амплітудою коливання кутової швидкості вихідної ланки / Я. Т. Кіницький, О.В. Головка ; заявник і патентовласник Хмельницький національний університет. – № u 2014 11129 ; заявл. 13.10.2014 ; опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9. – 6 с. : іл.
5. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин в системі Mathcad : навч. посібник / Я.Т. Кіницький, В.О. Харжевський, М.В. Марченко. – Хмельницький : ХНУ, 2014. – 295 с.

Рецензія/Peer review : 24.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 12.12.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ІНЖЕКЦІЙНОГО ФОРМУВАННЯ ВИРОБІВ ІЗ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Стаття присвячена дослідженню процесу лиття полімерів під тиском. Розроблено математичну модель процесу заповнення прес-форми, що встановлює зміну температури та тиску розплаву полімерного матеріалу в процесі формування виробу. Проведено експериментальні дослідження, що підтверджують правомірність розроблених теоретичних положень. Розроблено рекомендації щодо проектування технологічної оснастки.

Ключові слова: взуття, лиття під тиском, технологічні параметри лиття, температура розплаву полімеру.

T.I. KULIK, B.M. ZLOTENKO
Kyiv National University of Technology and Design

MATHEMATICAL MODEL OF TECHNOLOGICAL PROSESS OF INJECTION MOLDING OF PRODUCTS FROM POLYMERIC MATERIALS

The article deals with the technological process of polymer casting under pressure. The mathematical model of the process of the mold filling is evolved, which establishes the changes in temperature and pressure of the polymer material melt in the making of the products. Experimental studies confirming the correctness of the developed theoretical positions are performed. The recommendations for the design of technological equipment are proposed.

Keywords: footwear, injection molding, molding process parameters, temperature, pressure, polymer melt.

Вступ

Сучасне взуття виготовляється переважно з литою полімерною підошвою. Незалежно від способу кріплення полімерної підошви до заготовки верху взуття, технологія її виготовлення передбачає такі етапи: підготовка порції розплаву полімеру, упорскування його до прес-форми та охолодження до температури теплостійкості, після чого готовий виріб видаляється із прес-форми.

Постановка завдання

При недостатньо високій температурі лиття розплав полімеру може охолоджуватися до температури теплостійкості раніше, ніж відбудеться повне заповнення прес-форми. У випадку ж перевищення температури відбувається термічна деструкція матеріалу. В обох випадках вироби, що виготовляються, будуть бракованими. Особливі проблеми виникають при виготовленні виробів складної конфігурації – великої довжини, тонкостінних, багатоелементних.

Отже, визначення та підтримання необхідних температурних параметрів у процесі заповнення прес-форми при формуванні полімерних виробів є актуальним завданням, вирішення якого сприятиме підвищенню якості готових виробів.

Аналіз досліджень та публікацій

Якість виробу, виготовленого методом лиття під тиском, багато в чому визначається відповідністю умов переробки властивостям матеріалу, з якого даний виріб виготовлено. Температура переробки полімерного матеріалу визначає його в'язкість, а отже, й здатність рівномірно заповнювати прес-форму, утворюючи якісний міцний виріб з однорідною структурою [1–3].

Формулювання цілей

Метою даного дослідження є розроблення математичної моделі процесу заповнення прес-форми, яка встановлюватиме зміну температури та тиску розплаву полімерного матеріалу в процесі формування виробу та проведення експериментальних досліджень, які підтверджуватимуть достовірність отриманих результатів.

Виклад основного матеріалу

При заповненні закритої прес-форми (рис. 1) розплав проходить через канал в насадці та ливникові канали в прес-формі. Приймаючи до уваги малу довжину цих каналів, можна вважати течію розплаву в них ізотермічною.

Напруження в розплаві залежать від швидкості зсуву:

$$\tau = \mu \dot{\gamma}^n, \quad (1)$$

де τ – напруження зсуву, Па;
 μ – коефіцієнт консистенції, Па·с;
 $\dot{\gamma}$ – швидкість зсуву, 1/с;
 n – індекс течії розплаву.

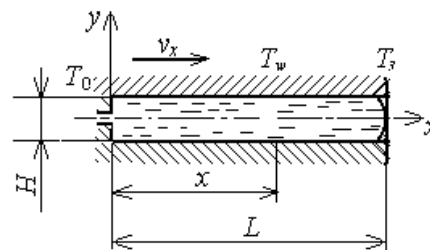


Рис. 1. Схема заповнення прес-форми в процесі інжекційного формування

Вихідна система рівнянь руху та напружень для циліндричного каналу має вигляд [4]:

$$\frac{dP}{dx} = \frac{1}{r} \frac{d(r\tau)}{dr}, \quad (2)$$

$$\tau = \mu \left(\frac{dV_x}{dr} \right)^n, \quad (3)$$

де P – тиск, Па;
 v – швидкість течії розплаву, м/с;
 x, y, r – поточні координати.

Вирішення цієї системи рівнянь може бути представлено у вигляді [4]:

$$\frac{dP}{dx} = 2\mu \left[\frac{Q \left(\frac{1}{n} + 3 \right)}{\pi R_K^{\frac{1}{n} + 3}} \right]^n, \quad (4)$$

де Q – об'ємна швидкість заповнення прес-форми, м³/с;
 R_K – радіус каналу, м.

Перепад тиску у щілинному каналі визначається рівнянням руху [4]:

$$\frac{dP}{dx} = \frac{d\tau}{dz}. \quad (5)$$

Напруження в розплаві:

$$\tau = \mu \left(\frac{dV_x}{dz} \right)^n. \quad (6)$$

Вирішення рівнянь (5) в (6) для каналу ширини B_K і висоти H_K дає:

$$\frac{dP}{dx} = 2\mu \left[\frac{2 \left(\frac{1}{n} + 2 \right) Q}{B_K H_K^{\frac{1}{n} + 2}} \right]^n, \quad (7)$$

Скористаємось відомою [4] температурною залежністю:

$$\mu = \mu_0 \exp \left(\frac{E}{RT} \right), \quad (8)$$

де R – універсальна газова стала;
 μ_0 , E – реологічні параметри потоку.

Для рухомої частинки розплаву у щілинному оформлюючому елементі, площа якої визначається поперечним перетином каналу, а довжина дорівнює dx , рівняння теплопровідності набуде вигляду [5]:

$$\frac{\partial T}{\partial t_x} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}, \quad (9)$$

де t_x – час течії частинки, який визначається середньою швидкістю потоку, с.

Вирішення рівняння (9) відоме [5]:

$$T \approx \frac{4}{\pi} \cos \left(\pi \frac{y}{H} \right) \exp(-gt_x) (T_0 - T_w) + T_w, \quad (10)$$

де $g = \frac{10a}{H^2}$, с⁻¹.

Середня швидкість потоку буде:

$$\bar{V} = \frac{Q}{HB}, \quad (11)$$

$$t_x = \frac{HBx}{Q}, \quad (12)$$

де Q – витрата потоку, м³/с;
 H, B – відповідно висота та ширина каналу, м.

З рівнянь (10) і (12), одержимо:

$$T = \frac{4}{\pi} \cos \left(\pi \frac{y}{H} \right) \exp \left(-\frac{gBH}{Q} x \right) (T_0 - T_w) + T_w. \quad (13)$$

Середня температура по висоті каналу дорівнюватиме:

$$\bar{T} = \frac{2}{H} \int_0^{\frac{H}{2}} T = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{gBH}{Q}x\right)(T_0 - T_w) + T_w. \quad (14)$$

Підставляючи (14) в (8), отримаємо:

$$\mu = \mu_0 \exp\left(\frac{E}{R \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{gBH}{Q}x\right)(T_0 - T_w) + T_w}\right). \quad (15)$$

Після підстановки (15) в (7), маємо:

$$\frac{dP}{dx} = 2\mu_0 \exp\left(\frac{E}{R \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{gBH}{Q}x\right)(T_0 - T_w) + T_w}\right) \left[\frac{2\left(\frac{1}{n} + 2\right)Q}{B_\kappa H_\kappa^{\frac{1}{n}+2}}\right]^n. \quad (16)$$

Інтегрування (16) дає:

$$P = 2\mu_0 \left[\frac{2\left(\frac{1}{n} + 2\right)Q}{B_\kappa H_\kappa^{\frac{1}{n}+2}}\right]^n \int_0^L \frac{E}{R \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{gBH}{Q}x\right)(T_0 - T_w) + T_w} dx. \quad (17)$$

Для порожнистих стрижнів B – довжина середнього периметра перетину. Для круглих:

$$B = 2\pi\bar{r}, \quad (18)$$

де $\bar{r}$ – середній радіус периметра.

Підставляючи (18) в (17), маємо:

$$P = 2\mu_0 \left[\frac{2\left(\frac{1}{n} + 2\right)Q}{2\pi\bar{r}H_\kappa^{\frac{1}{n}+2}}\right]^n \int_0^L \exp\left(\frac{E}{R \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{g2\pi\bar{r}H}{Q}L\right)(T_0 - T_w) + T_w}\right) x. \quad (19)$$

Для прямокутних стрижнів ширина каналу:

$$B = 2(\bar{a} + \bar{b}). \quad (20)$$

Підставляючи (20) в (17), отримаємо:

$$P = 2\mu_0 \left[\frac{2\left(\frac{1}{n} + 2\right)Q}{2(\bar{a} + \bar{b})H_\kappa^{\left(\frac{1}{n}+2\right)}}\right]^n \int_0^L \exp\left(\frac{E}{R \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{g2(\bar{a} + \bar{b})H}{Q}L\right)(T_0 - T_w) + T_w}\right) dx. \quad (21)$$

Експериментальні дослідження проводилися на реальному виробничому обладнанні – машині литтєвій вертикальній МЛВ-32 (рис. 2).

Температура розплаву в матеріальному циліндрі 2 преса 1 задається і контролюється за допомогою електронного приладу 5 марки ЭВ 3000К з термопарою типу ТХК. Тиск в циліндрі вузла впорскування задається за допомогою дроселя гідросистеми литтєвого преса 1 і контролюється манометром марки МПЗ-У.

У прес-формі виконані отвори у верхній та нижній частинах для закріплення термопар ТР-01А. Термопари під'єднуються до автоматичного самопишучого потенціометра ПС1-04. Дана конструкція дозволяє слідкувати за зміною температури у визначених точках в процесі заповнення та охолодження прес-форми. Нагрів прес-форми відбувається за допомогою нагрівального приладу та контролюється мультиметром DT-838 із термопарою.

У результаті обробки експериментальних даних вдалося встановити залежності, що описують зміну температури у прес-формі залежно від вихідних технологічних параметрів тиску лиття:

Температура у кінці прес-форми:

$$T_\kappa = 0,613 \cdot T_\phi + 2,125 \cdot T - 124,75. \quad (22)$$

де T_κ – температура розплаву в кінці заповнення, °С;

T – температура лиття, °С;

T_ϕ – температура стінок прес-форми, °С.



Рис. 2. Експериментальна литтєва установка:

1 – литтєвий прес МЛВ-32; 2 – матеріальний циліндр; 3 – прес-форма; 4 – блок керування;
5 – прилад ЭВ для контролю температури; 6 – самопишучий потенціометр ПС1-04

На рис. 3 представлені графічні залежності температури розплаву в кінці течії від температури розплаву на початку течії, розраховані за виразами (14) і (22).

Висновки

Із побудованих графіків видно, що температура на вході в прес-форму суттєво відрізняється від температури в кінці заповнення. На відстані 60 мм при товщині виробу 5 мм спостерігалось падіння температури на 25 °С. При цьому експериментальні дані добре узгоджуються із теоретичними, що підтверджує правомірність отриманої моделі.

Встановивши закономірності зниження температури розплаву по довжині течії, можна прогнозувати, у якій частині виробу почнеться склування полімеру. Це дозволить спроектувати оптимальну конструкцію прес-форми, визначивши необхідну кількість впускних отворів, та розташувавши їх таким чином, щоб забезпечити рівномірне заповнення прес-форми для отримання якісних виробів.

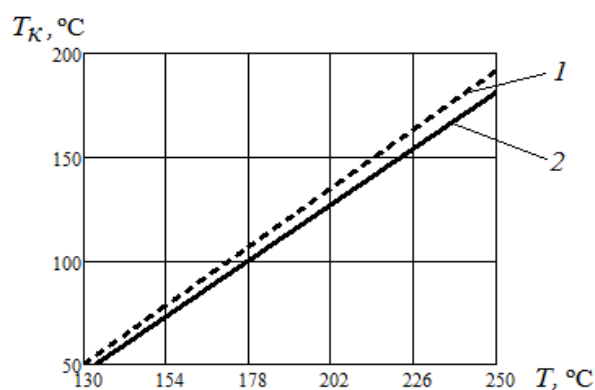


Рис. 3. Залежності температури розплаву в кінці течії від температури розплаву на початку течії:
1 – аналітична; 2 – експериментальна

Література

1. Пахаренко В. А. Переработка полимерных композиционных материалов / В. А. Пахаренко, Р. А. Яковлева, А. В. Пахаренко. – К. : Воля, 2006. – 552 с.
2. Суберляк О. В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів : підруч. / О. В. Суберляк, П. І. Баштанник. – Львів : Растр-7, 2007. – 307 с.
3. Тхір І. Г. Фізико-хімія полімерів : навч. посіб. / І. Г. Тхір, Т. В. Гуменецький. – Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2005. – 240 с.
4. Торнер Р. В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов) / Торнер Р. В. – М. : Химия, 1977. – 464 с.
5. Басов Н. И. Литьевое формование полимеров / Басов Н. И., Казанков Ю. В. – М. : Химия, 1984. – 248 с.

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ
ТИПУ «ГАЙКА» З МЕТОЮ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ**

В роботі розглянуті теоретичні основи процесу видавлювання деталей. Представлена математична модель течії металу, на основі якої обчислено відношене зусилля деформації в умовах тривимірної течії металу. На основі експериментальних розрахунків сформульовані практичні рекомендації для збільшення стійкості технологічного оснащення і зменшення виробничого браку.

Ключові слова: течія металу, деформації, видавлювання, матриця, пуансон.

Y.V. SAVITSKY, O.V. YAREMCHUK
Khmelnitsky National University

**IMPROVING THE PROCESS OF COLD PRESSING OF PARTS
SUCH AS "NUTS" TO IMPROVE THE QUALITY ARTICLES**

In this work the theoretical foundations of the process of extrusion parts. The process of radial extrusion with three-dimensional metal flow. A mathematical model of the flow of metal. On the basis of which calculated the relative deformation la efforts in terms of three-dimensional metal flow. Based on experimental calculations formulated practical recommendations to improve stability and reduce tooling manufacturing defects.

Keywords: current metal deformation, extrusion, matrix, punch.

Постановка проблеми. Холодне об'ємне штампування є високоефективним процесом виготовлення деталей і широко використовується в світовому машинобудуванні. Особливе місце серед операцій об'ємного штампування займає видавлювання. В умовах вільної економічної зони з ЄС основні критерії конкурентоздатності продукції – її ціна та якість, яка досягається впровадженням нових і вдосконаленням існуючих технологій.

Аналіз останніх досліджень. Однією із високопродуктивних і економічних процесів виготовлення деталей є холодне видавлювання (ХВ) зі сплавів кольорових металів і різних марок сталей [1]. Економічна доцільність застосування холодної видавлювання визначається підвищенням якості деталей, скороченням витрат металу, зменшенням трудомісткості, зниженням собівартості. Найвища ефективність процесів холодної видавлювання досягається при виробництві вісесиметричних деталей і складної форми з великими перепадами перетинів порожнинами різної конфігурації [2].

Виділення невирішеної раніше частини загальної проблеми. На рис. 1 зображено креслення видавленої заготовки гайки М42х2. Дана гайка використовується для комплектації рукава високого тиску (Ду=25-4SH, Р=320 Bar.), який забезпечує роботу силової гідравлічної системи зернозбиральних комбайнів виробництва ОАО «Гомсельмаш» Білорусь.

Проте під час виготовлення цієї деталі виникають деякі проблеми, а саме:

- з'являються поверхневі дефекти (тріщини, утяжини, зариви, задири та інші дефекти) (рис. 2);

- низька стійкість кошового штампового інструменту (матриць і пуансонів), що зменшує продуктивність роботи і збільшує її собівартість.

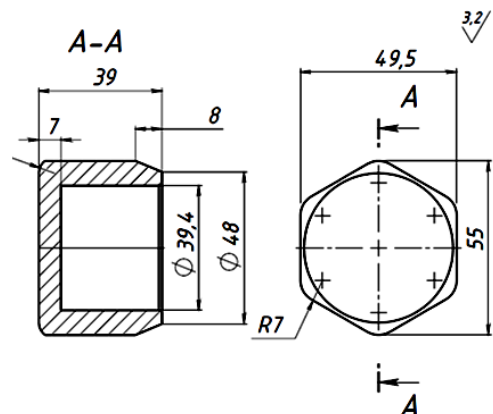


Рис. 1. Заготовка гайки S50(M42x2)

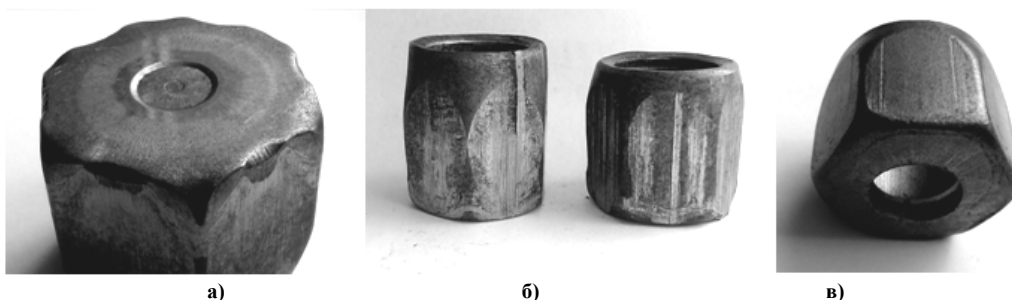


Рис. 2. Поверхневі недоліки заготовки гайки отриманої холодним видавлюванням:
а – зариви, утяжини; б – тріщини, шорсткість, в – поздовжні тріщини

Виклад основного матеріалу. Вибір того чи іншого способу при виробництві виробів

видавлюванням вимагає розробки науково обґрунтованої технології [3], що дозволяє прогнозувати механічні характеристики одержуваних деталей на стадії проектування технологічного процесу. Крім того, розробка раціональних технологічних процесів сприяє вирішенню завдань по розширенню можливостей холодного видавлювання за рахунок зниження питомої сили, яка сприймається пуансонами, знаходження оптимальної форми пуансона, апробація різних марок сталей з метою їх підбору по найоптимальнішим експлуатаційним властивостям.

Теоретично доведено [4], що процеси видавлювання деталей із змінною по периметру товщиною стінки характеризуються специфічною тривимірною течією металу. Ця течія не є вісесиметричною, що до цього часу не враховувалось в теоретичних рішеннях. Доведено, що видавлювання проходить у дві стадії: перша, що відбувається як радіальна течія металу, на якій здійснюється формування фестоу по верхньому торцю деталі (рис. 3); друга – як тривимірна (вихрова), тобто всі три компоненти швидкості відмінні від нуля: $v_r \neq 0$; $v_\theta \neq 0$; $v_z \neq 0$ (рис. 4). За вихідні параметри взято розміри пуансона r_n , матриці A , заготовки h_3 . Для першого етапу деформації припускаємо, що в зонах 1, 2 має місце радіальна течія, зона 3 може бути пластичною (за рахунок зсувів), а в зоні 4 деформація відсутня, тому вона – жорстка зона. Поля швидкостей в зонах 1, 2, 3 в циліндричній системі координат мають наступний вигляд (рис. 3):

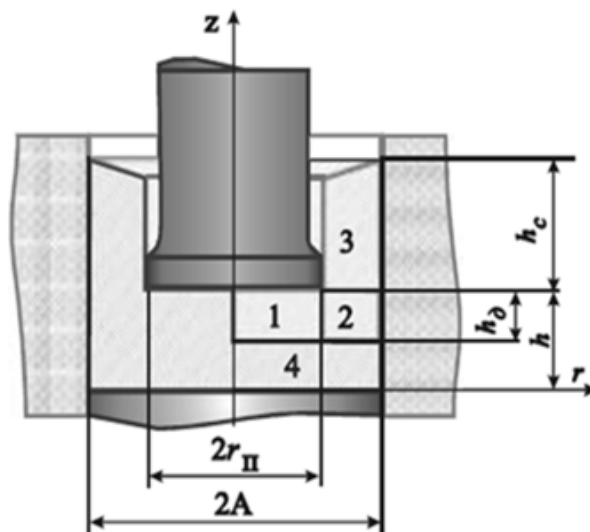


Рис. 3. Схема процесу радіального видавлювання при $v_\theta = 0$

Для зон 2 і 3 компоненти v_{r1} , v_{z2} та v_{r2} отримані на підставі закону сталості об'єму. Залежності для швидкостей течії металу, швидкостей деформації, інтенсивності швидкостей деформації дають можливість описати деформований стан у всьому об'ємі заготовки і перейти до побудови математичної моделі процесу.

Зона 1: $h - h_d \leq z \leq h$, $0 \leq r \leq r_n$;

$$v_{z1} = -\frac{v_n}{h} z - h_d - h ;$$

$$v_{r1} = \frac{v_n}{2h_d} \cdot r; \quad v_{\theta 1} = 0;$$

Зона 2: $h - h_d \leq z \leq h$, $r_n \leq r \leq A/\cos \theta$;

$$v_{z2} = -\frac{v_n}{h} - h_d - h \cdot f\theta;$$

$$v_{r2} = \frac{v_n}{2h_d} \cdot \frac{A^2 - r^2 \cos^2 \theta}{r} \cdot f\theta;$$

де $f\theta = \frac{r_n^2 \cos^2 \theta}{A^2 - r^2 \cos^2 \theta}$; $v_{\theta 2} = 0$;

Зона 3: $h \leq z \leq h + h_c$, $r_n \leq r \leq A/\cos \theta$;

$$v_{z3} = v_n \cdot f\theta; \quad v_{r3} = 0; \quad v_{\theta 3} = 0;$$

Зона 4: $0 \leq z \leq h - h_d$, $r_n \leq r \leq A/\cos \theta$;

$$v_{z4} = 0; \quad v_{r4} = 0; \quad v_{\theta 4} = 0,$$

де v_n – швидкість пуансона;

h – глибина розповсюдження осередку пластичної деформації;

h_c – висота стінки деталі;

h – товщина донця;

r, z, θ – координати циліндричній системі координат.

Для побудови математичної моделі процесу використовуємо перше основне рівняння енергетичного метода [5]:

$$F_{\partial} = \frac{1}{v_n} \left[\sum_{j=1}^J \left(\iiint \sigma_s(\varepsilon_i) \xi_i dV \right)_j + \sum_{m=1}^M \left(\iint \tau_k \sqrt{v_k^2 + v_l^2} dA \right)_m + \sum_{n=0}^N \left(\iint \tau_s \Delta v dG \right)_n \right] \quad (1)$$

де F – змінна в процесі деформації активна сила, Н;

v_n – швидкість пуансона, м/с;

$\sigma(\varepsilon_i)$ – напруження течії як функція інтенсивності деформації ε_i , Па;

V – об'єм зони в осередку деформації, м³;

κ – напруження тертя на контактних поверхнях, Па;

A – площа поверхні даного елемента деформованої заготовки, м²;

v_k, v_l – швидкість уздовж узагальнених координатних осей k і l , м/с;

S – напруження зсуву на поверхнях розриву швидкостей, Па;

Δv – розрив швидкостей зсуву, м/с;

G – площа поверхні розриву швидкостей, м²;

J – кількість зон, на яку розбито осередок деформації;

M – кількість поверхонь контактного тертя;

N – кількість поверхонь розриву швидкостей.

Потужність зовнішньої деформуючої сили, яка прикладена до пуансона:

$$N_{I2} = F_{\partial} \cdot v_n = \pi r_n^2 \cdot p \cdot v_n \sigma_s, \quad (2)$$

де p – відносне питоме зусилля деформації як функція безрозмірної глибини розповсюдження осередку пластичної деформації.

Виходячи з (1), можна записати:

$$\pi r_n^2 \cdot p v_n \sigma_s = \sum_{i=1}^{11} N_i \quad (3)$$

Підставивши до співвідношення (3) значення обчислених потужності внутрішніх сил опору деформації, контактного тертя і зсуву, які обчислені для кожної із зон деталі – N_i , розділивши праву і ліву частини на $v_n \sigma_s$ і площу робочого торця пуансона πr_n^2 , після перетворення до критеріального вигляду знаходимо p

$$p = A_0 + A_1 h_{\partial} + A_2 / h_{\partial} \quad (4)$$

Величини A_0, A_1, A_2 – розрахункові константи. Співвідношення (4) є математичною моделлю процесу радіального видавлювання (за умов $v_{\theta} = 0$). Можна розглядати (4) як функцію властивостей матеріалу (σ_s), що деформується, розмірів заготовки і інструменту (показаних на рис. 2), умов тертя на контактних поверхнях матриці і пуансона (μ_1 і μ_2), а також варійованого параметра h_{∂} – глибини розповсюдження осередку пластичної деформації.

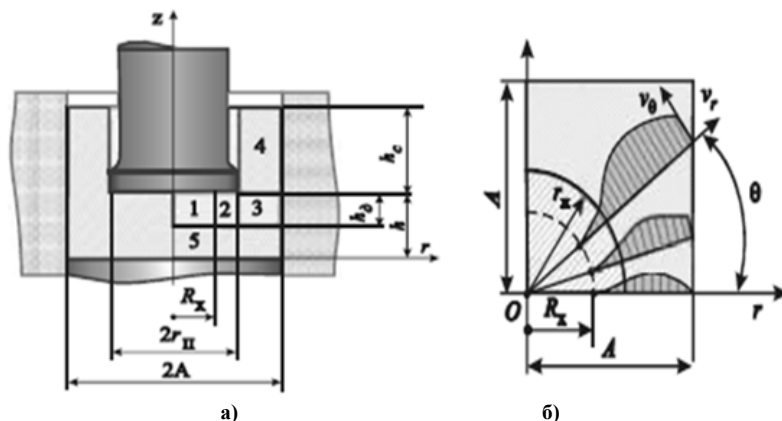


Рис. 4. Схема поділу деталі на зони (а) і схема тривимірної течії в зонах 2 і 3 (б) на другій стадії видавлювання

Залежність (4) дозволяє провести аналіз силового режиму видавлювання і кінематики плинності металу, визначити відносне питоме зусилля деформації p , побудувати поля швидкостей для зон 1 – 4, а вже за цими даними розрахувати повне зусилля деформації F_{∂} .

Показано, що теоретичний аналіз процесів тривимірної течії, коли $v_x \neq 0$; $v_y \neq 0$; $v_z \neq 0$ (або в циліндричній системі координат $v_r \neq 0$; $v_{\theta} \neq 0$; $v_z \neq 0$) (яку умовно названо «вихровою», як це рекомендував А. Г. Овчінніков [4], може бути проведений у повному обсязі. Виконаний аналіз другої стадії, при якій

стінка, що сформувалася заввишки h_c із фестоном Φ , впливає як жорсткий кінець і вирівнює по куту θ швидкість v_z . На цій стадії розміри сформованого фестона вже не змінюються (що підтверджується експериментами), а оскільки товщина стінки по θ змінна, то це призводить до істотної зміни характеру плинну – формування тривимірної течії, при якій в зонах 2 і 3 маємо $v_\theta \neq 0$ (рис. 4, 6). Для тривимірної течії (коли усі компоненти v_r , v_θ і v_z відмінні від нуля) умова сталості об'єму має більш складний вигляд, ніж при радіальній:

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + v_r \right) = 0. \quad (5)$$

Рівняння (5) містить три невідомі функції v_r , v_θ і v_z . Якщо задати дві функції v_θ і v_z , то можна визначити і функцію v_r з умови сталості об'єму. Для цього можна використовувати підходящі функції, які описують плин металу в зонах 1, 2 і 3 (див. рис. 4, а). Зони 4 і 5 – жорсткі, тому що в них всі компоненти швидкостей деформації, окрім v_{z4} , дорівнюють нулю. Крім того, $v_{z4} = \text{const}$. Підходящі функції мають задовольняти граничним умовам. Для зони 1 ($0 \leq r \leq R_x$) характерна радіальна течія металу, яка описується функціями, лінійними відносно незалежних змінних r і z :

$$v_{z1} = -\frac{v_n}{h_\theta} [z - (h - h_\theta)]; \quad v_{r1} = \frac{rv_n}{2h_\theta}; \quad v_{\theta1} = 0; \quad (6)$$

де R_x – невідомий радіус, що розділяє області радіальної і тривимірної течії.

Для зон 2 і 3 ($R_x \leq r \leq r_n$, а також $r_n \leq r \leq A/\cos(\theta)$) характерна вихрова течія, яку можна описати складними підходящими функціями. Швидкості v_{z2} та v_{z3} легко визначити з умов сталості об'єму, а функцію для швидкості $v_{\theta2}$ можна задати у вигляді підходящої із п'ятьма параметрами (a_0, a_1, a_2, a_3 та λ), які треба варіювати, щоб отримати $\min(F_\theta)$:

$$v_{z2} = -\frac{v_n}{h_\theta} [z - (h - h_\theta)]; \quad v_{z3} = \frac{v_n}{h_\theta} [z - (h - h_\theta)] \frac{\pi r_n^2}{4A^2 - \pi r_n^2}; \quad (7)$$

$$v_{\theta2} = [a_0 + a_1 r + a_2 r^2 + a_3 r^3] (\sin 4\theta + \lambda \sin 8\theta) \cdot v_n; \quad v_{\theta3} = v_{\theta2}; \quad (8)$$

де r, θ і z – незалежні змінні; a_0, a_1, a_2, a_3 і λ – варійовані параметри.

З попередніх експериментальних досліджень встановлено, що $0 < \lambda < 0,55$. Функції v_{r2} і v_{r3} для зон 2 і 3 можна знайти з умови сталості об'єму:

$$v_{r2} = -\frac{1}{r} \left[\int \left(\frac{\partial v_{z2}}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_{\theta2}}{\partial \theta} \right) \cdot r dr + C_2 \right]; \quad v_{r3} = -\frac{1}{r} \left[\int \left(\frac{\partial v_{z3}}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_{\theta3}}{\partial \theta} \right) \cdot r dr + C_3 \right]; \quad (9)$$

Інтегрування (9) при врахуванні граничних умов за зонами призводить до отримання складних функцій загального вигляду:

$$v_{r2} = f_r(a_0, a_1, a_2, a_3, h_\theta, \theta, \lambda, R_x); \quad v_{r3} = f_r(a_0, a_1, a_2, a_3, h_\theta, \theta, \lambda, R_x), \quad (10)$$

де R_x – змінна, яка дозволяє визначити межу зон 1 і 2, виходячи з граничних умов $0 \leq r \leq R_x$.

Функції швидкостей v_θ і v_r мають наступні властивості:

- 1) вихрова течія (коли $v_\theta \neq 0$) починається з деякої координати $r = R_x$;
- 2) в точці $r = R_x$ функція v_θ неперервна;
- 3) метал заготовки не проникає через стінку матриці.

З цих властивостей отримуємо додаткові відомості про поведінку відповідних функцій v_θ, v_r та додаткові умови:

- 1) при $r = R_x$ $v_\theta = 0$;
- 2) при $r = R_x$ маємо $dv_\theta/dr = 0$, а також $d^2v_\theta/dr^2 = 0$;
- 3) при $r = A/\cos(\theta)$ $v_{r3}/v_{\theta3} = \tan(\theta)$.

З цих додаткових умов витікає можливість скоротити кількість варійованих параметрів, зв'язавши їх через 2 узагальнені параметри. Це спрощує процес мінімізації функції (4) залежно від глибини розповсюдження осередку пластичної деформації (рис. 4), дає можливість прослідкувати перехід процесу деформації від початкової стадії (чисто радіальної течії) до другої стадії – тривимірної течії, коли $v_\theta \neq 0$ як енергетично вигіднішому варіанті при достатній висоті жорсткого кінця (видавленої стінки).

Прийняті припущення для визначення параметрів функцій v_θ і v_r , що мінімізують функцію p (4), дозволили виконати розрахунки і описати характер плинну металу на всіх стадіях видавлювання з достатньою точністю.

Інтенсивність швидкостей деформації ξ_i визначаємо за відомою формулою, яка містить компоненти тензора швидкостей деформації, визначувані згідно з рівняннями Коші.

Отримані залежності для швидкостей течії, швидкостей деформації, інтенсивності швидкостей деформації по кожній зоні дали можливість описати деформований стан у всьому об'ємі заготовки і перейти

до побудови математичної моделі процесу.

Потужність зовнішньої деформуючої сили, що прикладена до пуансона:

$$N_{I4} = F_{\sigma} V_n = \pi r_n^2 \cdot p \cdot v_n \sigma_s \quad (11)$$

Виходячи з (1), можна записати:

$$\pi r_n^2 \cdot p \cdot v_n \sigma_s = \sum_{i=1}^{13} N_i \quad (12)$$

Підставивши у вираз (12) значення обчислених потужностей, розділивши його праву і ліву частини на $v_n \sigma_s$ та площу робочого торця пуансона πr_n^2 , перетворивши отриману складну функцію до критеріального виду, знаходимо відносно питоме зусилля деформації p для видавлювання в умовах тривимірної течії [5].

Розглянутий процес – це процес, в якому радіальна та «вихрова» течія протікає послідовно. Для аналізу та дослідження процесу обробки металу тиском використовувався пакет програм MathCAD – практичний і ефективний інструмент, який дозволяє прогнозувати характер формування при операціях обробки металів тиском без витрат на експериментальне дослідження.

В роботі проаналізовано технологічний процес виготовлення деталі типу «тонкостінний стакан» зі змінною по периметру товщиною стінки холодним зворотним видавлюванням а також вплив параметрів ХВ на механічні характеристики даного типу деталей.

Висновки і перспективи розвитку напрямку.

1. Застосування активних сил контактного тертя дозволить зменшити питому силу на пуансоні на 20–30%.

2. При виборі оптимального кута конусності торця пуансона можна зменшити питому силу на пуансоні на 7–13%.

3. При виборі оптимальних розмірів намітки на торці заготовки можна зменшити питому силу на пуансоні на 4 - 15% . При дії активних сил тертя вплив технологічної намітки зменшується.

Всі перераховані вище фактори збільшують стійкість холодно-висадочного інструменту (матриць і пуансонів) на 40–45%. Стійкість технологічної оснастки напряму впливає на собівартість випуску заготовок у зв'язку із значними витратами на її виготовлення. В даний час для зниження деформуючої сили застосовують різні матеріали для змащування, форми інструменту, способи обробки поверхні заготовок, що дозволяють зменшити сили контактного тертя, а також проводять видавлювання з активними силами тертя. Крім того за рахунок значного покращення стану поверхні заготовок зменшується кількість відбракованої продукції з 15% до 5%.

Література

1. Воронцов А.Л. Теория штамповки выдавливанием / А. Л. Воронцов. – М. : Машиностроение -1, 2004. – 721 с.
2. Холодная объемная штамповка / под ред. Г.А. Навроцкого. – М. : Машиностроение ,1987. – 384 с.
3. Теория пластических деформаций металлов / под ред. Е.П. Унксова, А.Г. Овчинникова. – М. : Машиностроение, 1983. – 598 с.
4. Ковка и штамповка : справочник : в 4 т. Т. 3. Холодная объемная штамповка / под ред. Г.А. Навроцкого. – М. : Машиностроения, 1989. – 368 с.
5. Аналіз процесів видавлювання в умовах тривимірної течії металу / Кротенко Г. А. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – 20 с.

Рецензія/Peer review : 23.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 12.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Гордєєв А.І

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕРМІНІВ ТА РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕМОНТУ ОБЛАДНАННЯ

У статті встановлені економічно обґрунтовані терміни ремонту обладнання та оптимізовані обсяги і використання ресурсів ремонтних підрозділів. Показана математична еквівалентність різних постановок задач оптимізації ремонту обладнання. Визначені характеристики та з'ясовані засоби побудови функцій, потрібних для відповідних моделей.

Ключові слова: ремонт обладнання, оптимізація, тривалість, ресурси, прибуток.

A. NESTEROV

LLC «REMTEHMORPORT», Odesa

OPTIMIZATION OF TERMS AND RESOURCES OF REPAIR EQUIPMENT

The aim of article is determination economically reasonable terms of repairing equipment and optimized use of resources and the volume of repair units. Losses from downtime repairs increase linearly with increasing downtime. Costs of repair with repair time increase, on the contrary, are reducing. Amount of losses from downtime and repair costs itself with increasing repair time first decreases and then increases. The conditions of minimum of this sum of losses and costs are determined. Mathematical equivalence of different performances optimization problems repairing equipment is shown. The characteristics and tools for building functions required for the respective models are found. Model of optimization of use of resources and the volume of repair units is also built. Thus our models make it possible to find optimal terms of repair and using of repair resources.

Keywords: repair equipment, optimization, duration, resources, profit.

Вступ

Проблематика оптимізації процесів ремонту обладнання є актуальною як у практичному аспекті у зв'язку з великою кількістю застарілого обладнання, зокрема, у вітчизняних морських портах, так і у науковому, в силу невирішеності багатьох питань.

У відповідній літературі [1–5] здебільшого розглядаються лише питання надійності обладнання та визначення доцільних термінів його заміни, проте менше уваги приділяється встановленню економічно обґрунтованих термінів ремонту обладнання та обсягів використання ресурсів ремонтних підрозділів.

З нашої точки зору, ці задачі є важливими та цікавими. Тож метою даною статті є побудова та аналіз математичних моделей оптимізації термінів ремонту обладнання та обсягів і використання ресурсів ремонтних підрозділів.

Основний матеріал

Позначимо через t час ремонту певного обладнання, тоді функція втрат від простою цього обладнання на протязі t матиме вигляд $V(t) = f \cdot t$, де f – середній прибуток від експлуатації обладнання за одиницю часу. Лінійний характер функції $V(t)$ спростує її побудову – потрібно лише визначити кутовий коефіцієнт f .

Значно складніше побудувати функцію витрат $R(t)$ на проведення ремонту за термін t . Звичайно, $R(0) = \infty$ (термін ремонту не може бути зведений нанівець), при $t \rightarrow \infty$ $R(t) \rightarrow r > 0$ (навіть при низькій інтенсивності ремонту певні витрати на нього залишаються). Із загальних економічних міркувань функція $R(t)$ має бути спадною та опуклою вниз, оскільки кожне подальше скорочення терміну ремонту на одиницю часу коштуватиме все більших витрат.

Одним із засобів побудови залежності $R(t)$ є розробка сітьового графіку [3] ремонту обладнання, що розглядається. Задаючи різні ресурси (сумарною вартістю R) та оптимізуючи їх розподіл на виконання робіт сітьового графіку, одержуємо певні значення критичного шляху, найменше з яких становитиме значення t , відповідне цьому R . На підставі отриманої таким чином сукупності точок $(R_i, t_i), i = 1, \dots, n$ шукана залежність $R(t)$ відтворюється методами математичної статистики.

Нарешті, будуюмо функцію сумарних витрат, пов'язаних з ремонтом, $W(t) = V(t) + R(t)$ та знаходимо t , яке її мінімізує (рис. 1).

В точці мінімуму t^* $\frac{dW(t^*)}{dt} = \frac{dV(t^*)}{dt} + \frac{dR(t^*)}{dt} = f + \frac{dR(t^*)}{dt} = 0$, звідси $\frac{dR(t^*)}{dt} = -f$, що й показано на рис. 1.

Саме в точці з оптимальною абсцисою t^* пряма, симетрична прямій втраченого прибутку відносно горизонтальної осі, торкається як дотична до кривої витрат на ремонт.

Друга похідна $\frac{d^2W(t^*)}{dt^2} = \frac{d^2R(t^*)}{dt^2} > 0$, оскільки функція $R(t)$ опукла вниз, отже, в точці t^* саме

мінімум.

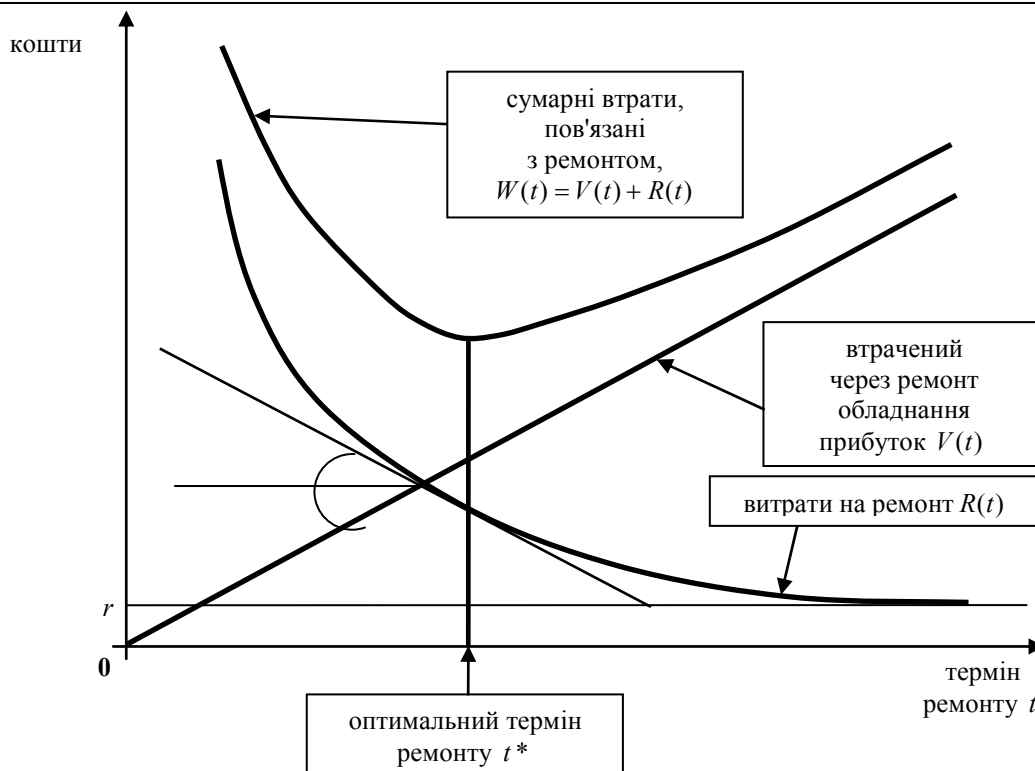


Рис. 1. Оптимізація терміну ремонту за критерієм мінімуму сумарних втрат, пов'язаних з ремонтом

Легко бачити, що із збільшенням середнього прибутку від експлуатації обладнання за одиницю часу f (й відповідним зростанням кута нахилу прямої $V(t)$) оптимальний термін ремонту t^* скорочується, і навпаки, із зменшенням f підвищується t^* , тобто t^* є спадною функцією f .

З іншого боку, чим слабкіша залежність витрат на ремонт R від його терміну t , тим меншим буде оптимальний термін ремонту t^* , і навпаки, із зростанням еластичності витрат на ремонт $R'(t)$ його оптимальний термін t^* збільшується.

Принциповий вигляд залежності оптимального терміну ремонту t^* від питомого прибутку f за різних значень еластичності витрат R' показано на рис.2.

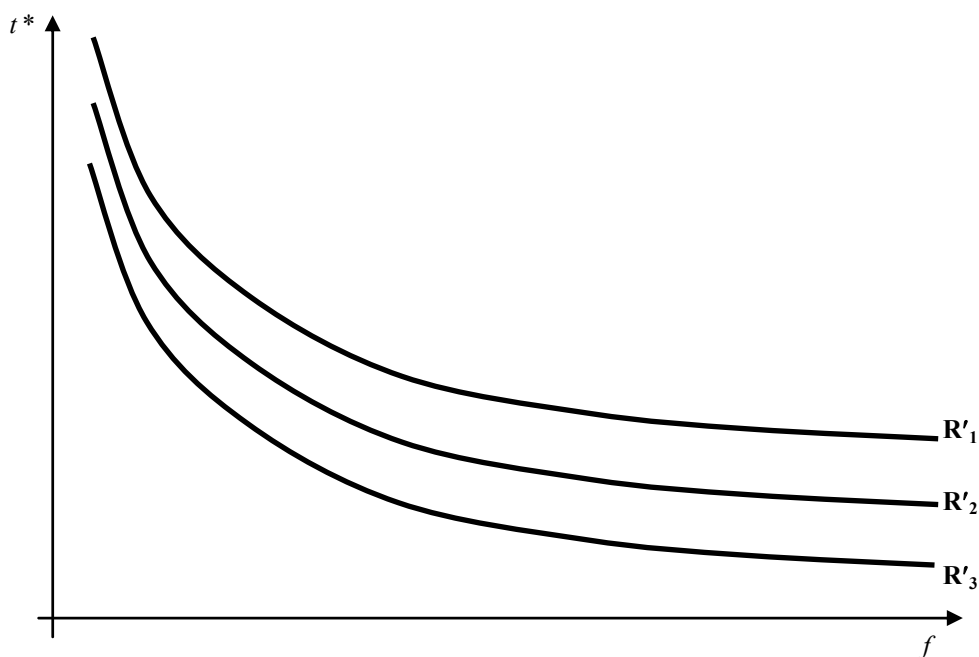


Рис. 2. Принциповий вигляд залежності $t^*(f, R')$, $R'_1 > R'_2 > R'_3$

Якщо ввести певний нормативний термін ремонту T , можна розглядати вже не втрачений через ремонт прибуток $V(t)$, а отриманий завдяки достроковому закінченню ремонту за час $t < T$ прибуток

$F(t) = f \cdot (T - t)$. Відповідно $R(t)$ трактується вже як додаткові витрати на скорочення термінів ремонту порівняно з нормативними, $R(T) = 0$. Тоді задача перетворюється на максимізацію прибутку від дострокового завершення ремонту (рис. 3): $D(t) = F(t) - R(t) \rightarrow \max$

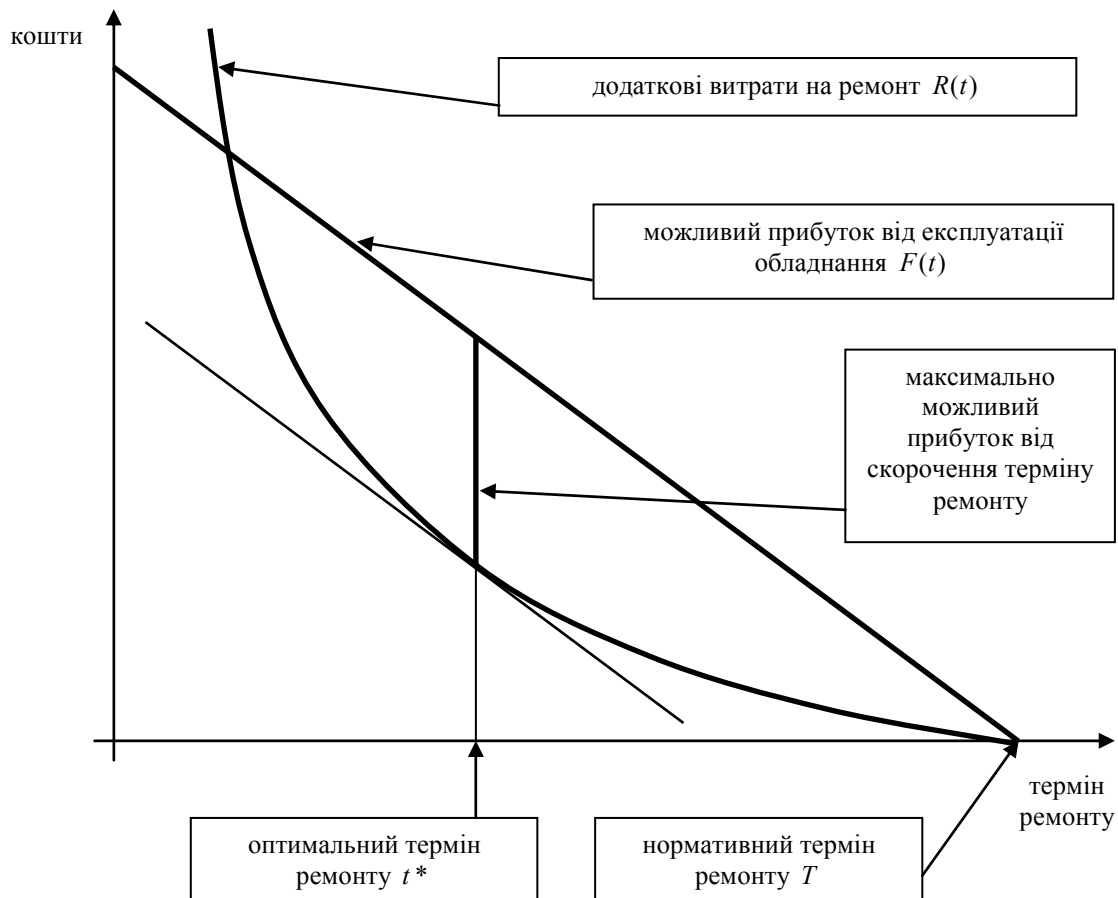


Рис. 3. Оптимізація терміну ремонту за критерієм максимізації прибутку

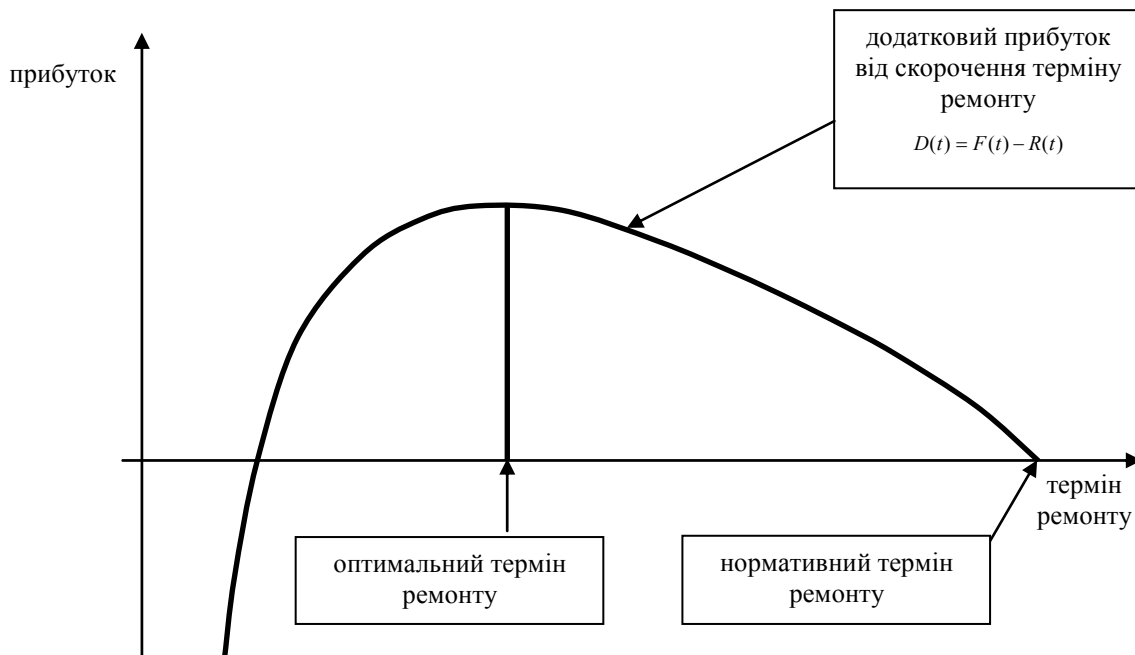


Рис. 4. Залежність прибутку від терміну ремонту

В явному вигляді цей прибуток показаний на рис. 4. В оптимальній точці t^*

$$\frac{dD(t^*)}{dt} = \frac{dF(t^*)}{dt} - \frac{dR(t^*)}{dt} = -f - \frac{dR(t^*)}{dt} = 0,$$

звідси $\frac{dR(t^*)}{dt} = -f$, що співпадає з раніше встановленою умовою оптимальності, тобто розглянуті підходи, при певних економічних відмінностях, математично тотожні.

Друга похідна $\frac{d^2D(t^*)}{dt^2} = \frac{d^2R(t^*)}{dt^2} < 0$, оскільки функція $R(t)$ опукла вниз, отже, в точці t^* саме максимум.

При меншому за t^* терміні ремонту пов'язане з цим скороченням зростання витрат не буде компенсоване відповідним приростом прибутку. При більшому за t^* терміні ремонту втрати від простою стають більшими за величину додаткових витрат на прискорення ремонту.

Узагальнимо тепер цей підхід на випадок n видів обладнання, що підлягає ремонту послугами певного ремонтного підрозділу. Позначимо вектор ресурсів цього підрозділу через $b = \{b_j, j = 1, \dots, m\}$. Витрати, пов'язані з придбанням та використанням вектору ресурсів b , описуються функцією $W(b)$. З цих ресурсів b на ремонт саме обладнання виду i виділяється $x_i, i = 1, \dots, n$.

Принциповий вигляд залежності терміну ремонту t_i обладнання виду i від виділених йому ресурсів $x_i, i = 1, \dots, n$, показаний на рис.5. Функції спадні та опуклі вниз.

Втрати від простою обладнання виду i на протязі терміну t_i описуються, як і раніше, лінійними функціями $V_i(t_i) = -f_i \cdot t_i$, тоді $\frac{\partial V_i}{\partial x_{ij}} = \frac{dV_i}{dt_i} \cdot \frac{\partial t_i}{\partial x_{ij}} = -f_i \cdot \frac{\partial t_i}{\partial x_{ij}}, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$.

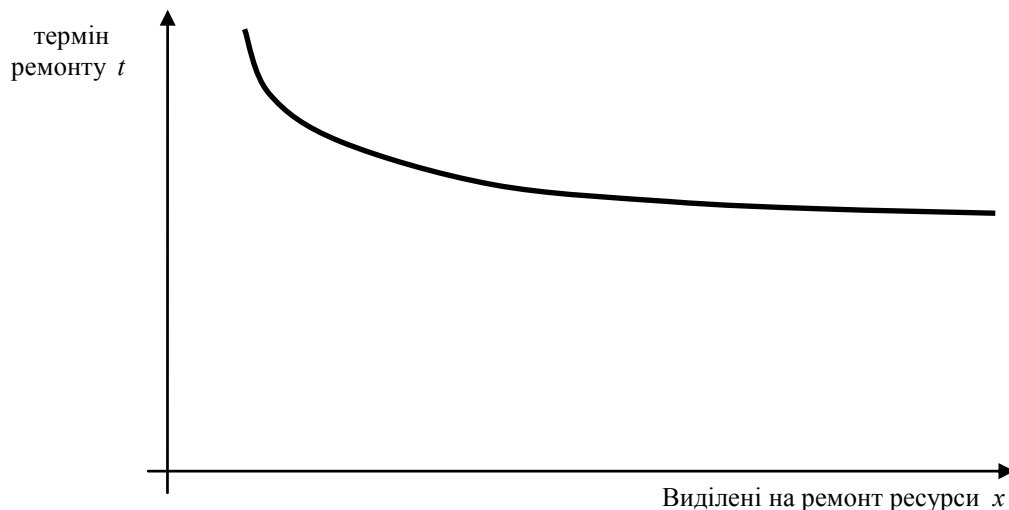


Рис. 5. Принциповий вигляд залежностей $t(x)$

Задача оптимізації складу та використання ремонтних ресурсів має вигляд:

$$W(b) + \sum_{i=1}^n V_i(t_i(x_i)) \rightarrow \min, \sum_{i=1}^n x_i \leq b, x_i \geq 0, i = 1, \dots, n.$$

Умови оптимальності складу $b^* = \{b_j^*\}$ та розподілу між видами обладнання $\{x_i^*\} = \{x_{ij}^*, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m\}$ ремонтних ресурсів:

$$-f_1 \cdot \frac{\partial t_1(x_1^*)}{\partial x_{1j}} = -f_2 \cdot \frac{\partial t_2(x_2^*)}{\partial x_{2j}} = \dots = -f_n \cdot \frac{\partial t_n(x_n^*)}{\partial x_{nj}} = \frac{\partial W(b^*)}{\partial b_j} = p_j, j = 1, \dots, m,$$

де p_j виступає в якості оптимальної ціни відповідного виду ремонтних ресурсів.

Як приклад такої задачі розглянемо оптимізацію процесу технічного обслуговування обладнання. Ремонтними ресурсами тут виступають фахівці відповідних кваліфікацій.

Позначимо:

x_j – кількість робітників кваліфікації j у ремонтному підрозділі, чол., $j = 1, \dots, m$;

T_j – річний фонд робочого часу робітника кваліфікації j , год., $j = 1, \dots, m$;

W_j – річна оплата праці робітника кваліфікації j , грн., $j = 1, \dots, m$;

a_{ikj} – трудомісткість виконання роботи k на обладнанні виду i фахівцями кваліфікації j , чол-

год., $i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, L_i, j = 1, \dots, m$;

f_i – витрати від простою обладнання виду i в одиницю часу, грн./год., $i = 1, \dots, n$.

Тоді задача оптимізації має вигляд:

$$\sum_{i=1}^n f_i \sum_{k=1}^{L_i} \max\{a_{ikj} / x_j\} + \sum_{j=1}^m W_j \cdot x_j \rightarrow \min$$

$$T_j \cdot x_j \geq \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{L_i} a_{ikj}, j = 1, \dots, m.$$

$$x_j \geq 0, j = 1, \dots, m.$$

Терміни обслуговування обладнання визначаються за максимальною з усіх потрібних кваліфікацій тривалістю виконання кожної роботи. Збільшенням штатної кількості робітників можна скоротити терміни обслуговування (та, відповідно, простою) обладнання, проте при цьому зростають витрати на зарплату.

Проводиться оптимізація штатної чисельності робітників усіх кваліфікацій за критерієм мінімуму сумарних втрат від простою обладнання та витрат на його обслуговування і ремонт – за умови, що штатної чисельності повинно бути достатньо для виконання всіх передбачених регламентом робіт (інша справа – в які терміни).

Відповідні розрахунки були виконані на реальних даних з допомогою опції “Пошук розв'язку” пакету EXCEL. Результати підтвердили теоретичні уявлення, що із збільшенням значень параметрів f_i оптимальна штатна чисельність зростає, при збільшенні ж величин W_j вона зменшується, та дали змогу зробити конкретні практичні рекомендації.

Висновки

Таким чином, встановлені умови оптимальності тривалості ремонту обладнання, виходячи з мінімізації функції суми втрат від простою в ремонті та витрат на власне виконання самого ремонту в той чи інший термін. З'ясовані властивості відповідних залежностей та вказані засоби їх побудови. Показана математична еквівалентність різних постановок задач оптимізації тривалостей ремонту. Здійснено узагальнення моделі на випадок множини видів обладнання, знайдені умови оптимальності обсягу та розподілу ремонтних ресурсів.

Література

1. Жардин Э. Техническое обслуживание оборудования. Исследование операций : в 2 т. Т. 2: Модели и применения / Жардин Э. ; пер. с англ. – М. : Мир, 1981. – С. 344–363.
2. Акоф Р. Задачи замены, ремонта и определения надежности оборудования. Основы исследования операций / Акоф Р., Сасиени М. ; пер. с англ. – М. : Мир, 1971. – С. 249–279.
3. Кофман А. Сетевые методы планирования / Кофман А., Дебазей Г. ; пер. с франц. – М. : Прогресс, 1968. – 274 с.
4. Холоденко А.М. Системная оптимизация сроков эксплуатации порталных кранов / А.М. Холоденко, Н.В. Пустовая // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: технический прогресс и эффективность производства : Сб.науч.трудов. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2003. – Вып. 22. – С. 7–9.
5. Пустовая Н.В. Влияние экономических и временных характеристик процессов монтажа и функционирования порталного крана на оптимальный срок его эксплуатации / Н.В. Пустовая // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем : зб. наук. праць. – Одеса : ОНМУ, 2003. – Вип. 6. – С. 113–127.

Рецензія/Peer review : 21.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 12.12.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.М. Пустовий

МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІНИ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЇ СТРУКТУРИ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ЧАС ОРІЄНТАЦІЙНОЇ ВИТЯЖКИ

Отримана математична модель зміни структури полімерів під дією навантаження розтягу, за допомогою якої можна розраховувати поля напружень та деформацій в будь-якій точці сфероліту. За допомогою даної моделі структури полімеру можна визначати пружні властивості матеріалу (в повздовжньому та поперечному до його осі напрямках) при його осьовій витяжці та зсуві.

Ключові слова: полімер, структура, переробка, сфероліт, витяжка, напруження, деформація.

O.M. SYNIUK, M.YE. SKYBA
Khmelnytsky National University

MODELLING OF THE CHANGE OF THE SUPRAMOLECULAR STRUCTURE OF POLYMERIC MATERIALS DURING THE ORIENTATION STRETCHING

A mathematical model of change of the polymers' structure under the action of stretching loading was received, which can be used to count the tension and deformation fields at any spherulite point. Using this model of the polymer structure it is possible to determine the elastic properties of the material (in the longitudinal and transverse to its axis directions) during the axial stretching and offset.

Key words: polymer, structure, processing, spherulite, stretching, tension, deformation.

Вступ та актуальність. Процес переходу з неорієнтованого стану аморфно-кристалічних полімерів до високоорієнтованого є однією з стадій розщеплення полімерних відходів на волокна, які можна використовувати як армуючі елементи композитних матеріалів [1–3]. Зміна пружних властивостей аморфно-кристалічних полімерів в процесі витягування в роботі зв'язується з кінцевою деформацією основних рівнів надмолекулярної структури (НМС). Аналітичне рішення задачі знайдено методом послідовного врахування взаємодії різних рівнів НМС аморфно-кристалічного середовища шляхом встановлення функціональної залежності характеристик матеріалу від параметрів НМС і технології виготовлення.

В результаті структурного аналізу, проведеного в роботах [4–11], встановлено, що в неорієнтованому стані аморфно-кристалічних полімерів сферолітної будови можна виділити два основних рівня НМС – сфероліти, що мають геометричну форму, близьку до сфери, і володіють мікрогетерогенною кристалічною структурою, і однорідну аморфну частину середовища з нерегульованою структурою. В роботі [12] запропонована модель неорієнтованої структури аморфно-кристалічних полімерів, яка задовільно зв'язала показники їх пружних властивостей з параметрами структури і результатами експериментів інших дослідників.

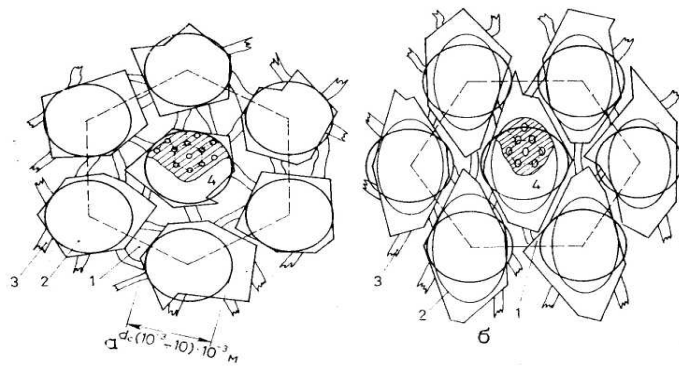
Прийнявши як вихідні дані про характеристики структурних елементів – сферолітів і аморфної фази [12] і нехтуючи дисипативними явищами в зазначених елементах, в першому наближенні розіб'ємо весь процес витягування полімеру на кінцеву кількість станів з фіксованим ступенем деформації сферолітів. Раніше було встановлено [4–7], що при природних значеннях ступеня витягування, який дорівнює $1 \leq \lambda \leq 9 \dots 10$, зберігається прямий генетичний зв'язок між вихідним сферолітним порядком і орієнтаційним, а також те, що зі збільшенням ступеня витяжки λ , зростає і ступінь анізотропії матеріалу. Зазначені факти є основою для гіпотези про існування кількісного зв'язку між параметрами витягування сферолітів і показниками механічних характеристик середовища в кожному із зазначених станів.

Основна частина. Розглянемо модель неорієнтованого стану сферолітної структури [12], яка піддається одноосній орієнтації зі ступенем витяжки λ . На рис. 1 представлена модель перетворення вихідної неорієнтованої сферолітної структури в орієнтовану. Врахувавши той факт, що зміна форми сферолітів в результаті орієнтаційної витяжки відбувається однорідно [8] в напрямку осі x_1 і при незмінному об'ємі сферолітів [9, 10] ($\rho_c = \text{const}$), будемо моделювати орієнтаційну витяжку як рівномірне стиснення (розтягнення) простору з коефіцієнтом η , чисельно рівним ступеню витяжки полімеру: $\eta = \lambda$. При цьому фактично відбувається рівномірне стиснення (розтягнення) сфероліта в напрямку від площини $x_2 0 x_3$, прийнятої за основну (рис. 2). Формули перетворення координат з урахуванням незмінності об'єму сфероліта матимуть вигляд $x_1^* = \lambda x_1$, $x_2^* = x_2$, $x_3^* = \lambda^{-1/2} x_3$. При цьому можуть мати місце два випадки:

- при $\lambda > 1$ має місце одноосьове розтягнення простору (отримання волокон і плівок методом витяжки);
- при $\lambda < 1$ – одноосьовий стиск простору (отримання листів і плівок методом прокатки або каландруванням).

Рівняння сфероліту радіусом r ($x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 = r^2$), що піддається рівномірному розтягуванню з коефіцієнтом витяжки λ , в результаті підстановки формул перетворення координат і приведення його до канонічного вигляду має такий вигляд:

$$\frac{(x_1^*)^2}{\lambda^2 r^2} + \lambda \frac{(x_2^*)^2 + (x_3^*)^2}{r^2} = 1. \quad (1)$$



1 – аморфна фаза; 2 – сфероліти (кристалічна фаза); 3 – прохідні мікрофібрили; 4 – модель внутрішньої будови сфероліта.

Рис. 1. Модель надмолекулярної сферолітної структури аморфно-кристалічних полімерів в неорієнтованому (а) і орієнтованому (б) станах загальної анізотропії аморфно-кристалічного середовища при ізотропності елементів надмолекулярної структури (сферолітів і аморфної фази).

Ефективні пружні постійні орієнтованого аморфно-кристалічного полімеру будемо визначати, виходячи з позицій мікромеханіки композитних матеріалів [13] із залученням як декартової, так і криволінійної систем вироджених еліпсоїдальних координат v, ϑ, φ , взаємозв'язок між якими (рис. 2) визначається такими виразами:

$$x_1 = r(\lambda^2 - \lambda^{-1})^{1/2} \operatorname{ch} u \cos \vartheta,$$

$$x_2 + ix_3 = r(\lambda^2 - \lambda^{-1})^{1/2} \operatorname{sh} u \sin \vartheta e^{i\varphi}.$$

Коефіцієнти Ламе системи (2) виражені такими рівняннями:

$$H_u^2 = H_\vartheta^2 = r^2(\lambda^2 - \lambda^{-1})(\operatorname{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta),$$

$$H_\varphi^2 = r^2(\lambda^2 - \lambda^{-1}) \cdot \operatorname{sh}^2 u \cdot \sin^2 \vartheta.$$

Першу квадратичну форму елемента довжини дуги ds знаходимо з такого виразу:

$$ds^2 = r^2(\lambda^2 - \lambda^{-1})[(\operatorname{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta)(du^2 + d\vartheta^2) + \operatorname{sh}^2 u \sin^2 \vartheta d\varphi^2] \quad (4)$$

Одиничні вектори криволінійної $\mathbf{e}_u, \mathbf{e}_\vartheta, \mathbf{e}_\varphi$ і декартової $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \mathbf{e}_3$ систем координат зв'язані такими співвідношеннями

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_u &= a_{11} \cdot \mathbf{e}_1 + a_{12} \cdot \mathbf{e}_2 + a_{13} \cdot \mathbf{e}_3, \\ \mathbf{e}_\vartheta &= a_{21} \cdot \mathbf{e}_1 + a_{22} \cdot \mathbf{e}_2 + a_{23} \cdot \mathbf{e}_3, \\ \mathbf{e}_\varphi &= a_{31} \cdot \mathbf{e}_1 + a_{32} \cdot \mathbf{e}_2 + a_{33} \cdot \mathbf{e}_3, \end{aligned} \quad (5)$$

де

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{\operatorname{sh} u \cos \vartheta}{\sqrt{\operatorname{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta}}; & a_{21} &= -\frac{\operatorname{ch} u \sin \vartheta}{\sqrt{\operatorname{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta}}; \\ a_{12} &= \frac{\operatorname{ch} u \sin \vartheta \cos \varphi}{\sqrt{\operatorname{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta}}; & a_{22} &= \frac{\operatorname{sh} u \cos \vartheta \cos \varphi}{\sqrt{\operatorname{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta}}; \\ a_{13} &= \frac{\operatorname{ch} u \sin \vartheta \sin \varphi}{\sqrt{\operatorname{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta}}; & a_{23} &= \frac{\operatorname{sh} u \cos \vartheta \sin \varphi}{\sqrt{\operatorname{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta}}; \\ a_{31} &= 0; & a_{32} &= -\sin \varphi; & a_{33} &= \cos \varphi. \end{aligned} \quad (6)$$

Зворотне перетворення здійснюється за такими рівняннями:

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_1 &= a_{11} \cdot \mathbf{e}_u + a_{21} \cdot \mathbf{e}_\vartheta + a_{31} \cdot \mathbf{e}_\varphi, \\ \mathbf{e}_2 &= a_{12} \cdot \mathbf{e}_u + a_{22} \cdot \mathbf{e}_\vartheta + a_{32} \cdot \mathbf{e}_\varphi, \\ \mathbf{e}_3 &= a_{13} \cdot \mathbf{e}_u + a_{23} \cdot \mathbf{e}_\vartheta + a_{33} \cdot \mathbf{e}_\varphi. \end{aligned} \quad (7)$$

Для визначення ефективних пружних постійних загальний напружений стан представимо як суперпозицію елементарних напружених станів – поздовжнього і двовірного поперечного розтягування, поздовжнього розтягування і поздовжнього зсуву. Детальний розгляд деформації сферолітної структури дозволяє виявити два типи деформації НМС при витяжці: однорідної і неоднорідної [8–10]. Однорідний характер деформації сферолітної структури відповідає сфероліту, всі частини якого розтягуються одночасно і пропорційно. Виходячи з цього робимо висновок, що при дії однорідних на безкінечності напружень в аморфно-кристалічному середовищі напруження в сфероліті є однорідними і однотипними, тобто нормальні і дотичні напруження в сфероліті на головних площадках не змішуються між собою. Для міжсферолітного (аморфного) простору характерна наявність як однорідної, так і неоднорідної деформації, що свідчить про розсіяння механічної енергії витягування в основному в міжсферолітному просторі. Таким чином, в наближенні лінійної теорії можна прийняти, що між елементами НМС діють невідомі напруження однорідної взаємодії α_1^0 .

З метою знаходження ефективного модуля пружності E_1 в напрямку осі витяжки x_1 розглянемо

Вираз (1) являє собою рівняння еліпсоїда обертання (сфероїда). Слід мати на увазі, що якщо $\lambda > 1$, то сфероліт має форму витягнутого в напрямку осі x_1 еліпсоїда обертання, а якщо $\lambda < 1$, він стиснутий в цьому ж напрямку. Таким чином, при одноосній орієнтації відбувається перетворення форми сферолітів з сферичної в еліпсоїдальну, що задовільно узгоджується з результатами електронно-мікроскопічних [5] і дифрактометричних [4, 8] досліджень.

Зміна форми сферолітів, як буде показано нижче, в процесі витяжки сприяє виникненню

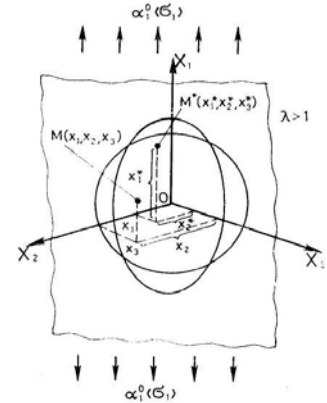


Рис. 2. Модель витяжки полімеру сферолітної будови

випадок поздовжнього розтягування орієнтованої аморфно-кристалічної середовища сферолітної будови середніми на безкінечності напруженнями $\hat{\sigma}_1^0$. При цьому в сфероліті (рис. 2) виникає напружений стан, який описується таким рівнянням:

$$\mathbf{T}^c = (\mathbf{e}_1 \mathbf{e}_1 \alpha_1^c + \mathbf{e}_2 \mathbf{e}_2 \alpha_2^c + \mathbf{e}_3 \mathbf{e}_3 \alpha_3^c) \hat{\sigma}_1, \quad (8)$$

де $\alpha_1^c, \alpha_2^c, \alpha_3^c$ – невідомі постійні, що характеризують рівень структурних напружень в сфероліті на головних площадках; $\hat{\sigma}_1$ – середні напруження розтягу, що діють на елементи НМС.

У криволінійній системі координат (2) тензор напружень (8) виразимо як

$$\mathbf{T}^c = (\mathbf{e}_u \mathbf{e}_u \alpha_u^c + \mathbf{e}_\varphi \mathbf{e}_\varphi \alpha_\varphi^c + (\mathbf{e}_u \mathbf{e}_\varphi + \mathbf{e}_\varphi \mathbf{e}_u) \alpha_{u\varphi}^c) \hat{\sigma}_1. \quad (9)$$

Невідомі компоненти тензора напружень сфероліта визначаємо з (9), враховуючи рівняння (4) ... (6), як

$$\begin{aligned} \sigma_u^c &= \hat{\sigma}_1 \alpha_u^c = (\alpha_1^c a_{11}^2 + \alpha_2^c a_{21}^2) \hat{\sigma}_1; \\ \sigma_\varphi^c &= \hat{\sigma}_1 \alpha_\varphi^c = (\alpha_2^c a_{11}^2 + \alpha_1^c a_{21}^2) \hat{\sigma}_1; \\ \sigma_{u\varphi}^c &= \hat{\sigma}_1 \alpha_{u\varphi}^c = (\alpha_2^c - \alpha_1^c) a_{11} a_{21} \hat{\sigma}_1. \end{aligned} \quad (10)$$

Компоненти вектора переміщення для сфероліта виразимо в криволінійній системі координат з урахуванням співвідношень (2)–(6):

$$\begin{aligned} u_u^c &= r(\lambda^2 - \lambda^{-1})^{1/2} (\varepsilon_1^c a_{11} \operatorname{ch} u \cos \vartheta - \varepsilon_2^c a_{21} \operatorname{sh} u \sin \vartheta), \\ u_\varphi^c &= r(\lambda^2 - \lambda^{-1})^{1/2} (\varepsilon_2^c a_{11} \operatorname{sh} u \sin \vartheta + \varepsilon_1^c a_{21} \operatorname{ch} u \cos \vartheta) \end{aligned} \quad (11)$$

де $\varepsilon_1^c, \varepsilon_2^c = \varepsilon_3^c$ – компоненти тензора однорідної деформації сфероліта.

$$\varepsilon_1^c = \frac{1}{E_c} (\alpha_1^c - 2\nu_c \alpha_2^c) \hat{\sigma}_1, \quad \varepsilon_2^c = \varepsilon_3^c = \frac{1}{E_c} ((1 - \nu_c) \alpha_2^c - \nu_c \alpha_1^c) \hat{\sigma}_1, \quad (12)$$

де E_c, ν_c – модуль пружності і коефіцієнт Пуассона сфероліта [12].

Поле напружень в аморфному середовищі представимо у вигляді суми однорідного поля взаємодії між сферолітами НМС і двох складових, що розсіюються на сферолітах і спадають в міру віддалення від них. Для орієнтованої сферолітної структури поле однорідної взаємодії аморфного середовища при розтягуванні напруженнями $\alpha_1^0 \hat{\sigma}_1$ виразимо як

$$\mathbf{T}^a = \mathbf{e}_1 \mathbf{e}_1 \alpha_1^0 \hat{\sigma}_1 = (\mathbf{e}_u \mathbf{e}_u \alpha_u^0 + \mathbf{e}_\varphi \mathbf{e}_\varphi \alpha_\varphi^0 + (\mathbf{e}_u \mathbf{e}_\varphi + \mathbf{e}_\varphi \mathbf{e}_u) \alpha_{u\varphi}^0) \hat{\sigma}_1. \quad (13)$$

Невідомі компоненти тензора напружень аморфної фази визначаємо з (9), враховуючи рівняння (4)–(6), як

$$\begin{aligned} \sigma_u^0 &= \hat{\sigma}_1 \alpha_u^0 = \alpha_1^0 a_{11}^2 \hat{\sigma}_1; \\ \sigma_\varphi^0 &= \hat{\sigma}_1 \alpha_\varphi^0 = \alpha_1^0 a_{21}^2 \hat{\sigma}_1; \\ \sigma_{u\varphi}^0 &= \hat{\sigma}_1 \alpha_{u\varphi}^0 = \alpha_1^0 a_{11} a_{21} \hat{\sigma}_1. \end{aligned} \quad (14)$$

Компоненти вектора переміщень з урахуванням співвідношень (2)–(6) визначаються таким чином:

$$\begin{aligned} u_u^a &= r(\lambda^2 - \lambda^{-1})^{1/2} (\varepsilon_1^0 a_{11} \operatorname{ch} u \cos \vartheta - \varepsilon_2^0 a_{21} \operatorname{sh} u \sin \vartheta), \\ u_\varphi^a &= r(\lambda^2 - \lambda^{-1})^{1/2} (\varepsilon_2^0 a_{11} \operatorname{sh} u \sin \vartheta + \varepsilon_1^0 a_{21} \operatorname{ch} u \cos \vartheta) \end{aligned} \quad (15)$$

де $\varepsilon_1^0, \varepsilon_2^0 = \varepsilon_3^0$ – компоненти тензора однорідної деформації аморфного середовища, які можна визначити з таких рівнянь:

$$\varepsilon_1^0 = \frac{1}{E_a} \alpha_1^0 \hat{\sigma}_1, \quad \varepsilon_2^0 = \varepsilon_3^0 = -\frac{\nu_a}{E_a} \alpha_1^0 \hat{\sigma}_1, \quad (16)$$

де E_a, ν_a – модуль пружності і коефіцієнт Пуассона аморфного середовища [12].

Для знаходження складових полів напружень, що розсіюються в міжсферолітному аморфному просторі, скористаємося рішенням зовнішньої задачі для витягнутого еліпсоїда обертання, отриманим в роботах [13–15]. В якості першого розсіяного поля розглянемо соленоїдалне поле переміщень, що задовольняє рівнянню

$$\operatorname{div} \mathbf{u}^* = \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0.$$

Рішення, що задовольняють цій умові, в криволінійних координатах мають такий вигляд

$$\begin{aligned} u_u^* &= \frac{r(\lambda^2 - \lambda^{-1})^{1/2}}{\sqrt{\operatorname{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta}} \frac{(1 + \nu_a)}{4E_a} A \hat{\sigma}_1 \{ [2Q_1(\operatorname{ch} u) \operatorname{sh} u - Q_1^{(1)}(\operatorname{ch} u) \operatorname{ch} u] + [2Q_1(\operatorname{ch} u) \operatorname{sh} u + Q_1^{(1)}(\operatorname{ch} u) \operatorname{ch} u] \cos 2\vartheta \}, \\ u_\varphi^* &= -\frac{r(\lambda^2 - \lambda^{-1})^{1/2}}{\sqrt{\operatorname{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta}} \frac{(1 + \nu_a)}{4E_a} A \hat{\sigma}_1 \{ [2Q_1(\operatorname{ch} u) \operatorname{ch} u + Q_1^{(1)}(\operatorname{ch} u) \operatorname{sh} u] \sin 2\vartheta \}, \\ u_\varphi^* &= 0. \end{aligned} \quad (17)$$

де A – невідома постійна; $Q_1(chu)$, $Q_1^{(1)}(chu)$ – приєднані функції Лежандра другого роду першого ступеня нульового і першого порядку відповідно.

Визначимо вектор напруження $\mathbf{W}_u^*$ на площадці з нормаллю $\mathbf{e}_u$ через зміщення (17), що задовольняють умові [13], з векторного виразу [16]

$$\mathbf{W}_u^* = \frac{E_a}{1 + \nu_a} \left(\frac{1}{H_u} \frac{\partial \mathbf{u}^*}{\partial u} + \frac{1}{2} \mathbf{e}_u \times \text{rot } \mathbf{u}^* \right). \quad (18)$$

Вирішуючи векторне рівняння (18) і враховуючи вирази (3), (5)–(7) і (17), отримаємо напруження на поверхні, софокусній сфероліту ($u = \text{const}$), у вигляді

$$\sigma_u^* = \frac{A \hat{\sigma}_1}{4(\text{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta)} \left\{ \left[2Q_1^{(1)}(chu) \text{sh } u + \frac{dQ_1^{(1)}(chu)}{du} \text{ch } u \right] \cos 2\vartheta + 2Q_1^{(1)}(chu) \text{sh } u - \frac{dQ_1^{(1)}(chu)}{du} \text{ch } u \right\}, \quad (19)$$

$$\sigma_{u\vartheta}^* = -\frac{A \hat{\sigma}_1}{4(\text{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta)} \left[2Q_1(chu) \text{sh } u + Q_1^{(1)}(chu) \text{ch } u \right] \sin 2\vartheta.$$

Зміщення другого розсіяного поля будують через розв'язок Папковича-Нейбера [13, 16] у вигляді

$$\mathbf{u}^{**} = -\frac{\hat{\sigma}_1(1 + \nu_a)}{E_a} \left[(3 - 4\nu_a) \mathbf{e}_1 B_1 - \text{grad}(B_0 + B_1 x_1) \right], \quad (20)$$

де $B_0, B_1, B_2 = B_3 = 0$ – функції Папковича-Нейбера, що розраховуються за такими рівняннями:

$$B_0 = -0,5 r^2 (\lambda^2 - \lambda^{-1}) F \text{ch}^2 u_0 Q_2(chu) P_2(\cos \vartheta), \quad (21)$$

$$B_1 = 0,5 r (\lambda^2 - \lambda^{-1})^{0,5} F Q_1(chu) P_1(\cos \vartheta),$$

де $P_1(\cos \vartheta) = \cos \vartheta$, $P_2(\cos \vartheta) = 0,5(3 \cos^2 \vartheta - 1)$ – приєднані функції Лежандра першого роду; F – довільна постійна.

Компоненти вектора зміщення для другого розсіяного поля в криволінійній системі координат визначаються з виразу (20) з урахуванням співвідношень (3) і (5)–(7)

$$u_u^{**} = \frac{r(\lambda^2 - \lambda^{-1})^{1/2}}{\sqrt{\text{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta}} \frac{(1 + \nu_a)}{8E_a} F \hat{\sigma}_1 \left\{ \left[(6 - 8\nu_a) Q_1(chu) \text{sh } u - 2Q_1^{(1)}(chu) \text{ch } u + Q_2^{(1)}(chu) \text{ch}^2 u_0 \right] + \right. \\ \left. + \left[(6 - 8\nu_a) Q_1(chu) \text{sh } u - 2Q_1^{(1)}(chu) \text{ch } u + 3Q_2^{(1)}(chu) \text{ch}^2 u_0 \right] \cos 2\vartheta \right\}, \quad (22)$$

$$u_\vartheta^{**} = -\frac{r(\lambda^2 - \lambda^{-1})^{1/2}}{\sqrt{\text{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta}} \frac{(1 + \nu_a)}{8E_a} F \hat{\sigma}_1 \left[(2 - 4\nu_a) Q_1(chu) \text{ch } u + 3Q_2(chu) \text{ch}^2 u_0 \right] \sin 2\vartheta,$$

$$u_\varphi^{**} = 0.$$

Вектор напруження $\mathbf{W}_u^{**}$ на площадці з нормаллю $\mathbf{e}_u$, що є дотичною до поверхні софокусного сфероліту еліпсоїда ($u = \text{const}$), визначимо через переміщення з векторного рівняння [16]

$$\mathbf{W}_u^{**} = \frac{E_a}{1 + \nu_a} \left(\frac{1}{H_u} \frac{\partial \mathbf{u}^{**}}{\partial u} + \frac{1}{2} \mathbf{e}_u \times \text{rot } \mathbf{u}^{**} + \frac{\mathbf{e}_u \nu_a}{1 - 2\nu_a} \text{div } \mathbf{u}^{**} \right). \quad (23)$$

Вирішуючи рівняння (23) з урахуванням виразів (3), (5) ... (7) і (20), (22), отримаємо напруження другого розсіяного поля в міжсферолітному просторі на поверхнях, що є софокусними сферолітам, у вигляді

$$\sigma_u^{**} = \frac{F \hat{\sigma}_1}{2(\text{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta)} \left\{ 2(\text{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta) \left[(1 - \nu_a) \text{sh } u \cos \vartheta \frac{\partial B_1^*}{\partial u} - \nu_a \text{ch } u \sin \vartheta \frac{\partial B_1^*}{\partial \vartheta} \right] - \right. \\ \left. - (\text{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta) \left(\frac{\partial^2 B_0^*}{\partial u^2} + \text{ch } u \cdot \cos \vartheta \frac{\partial^2 B_1^*}{\partial u^2} \right) + \text{ch } u \cdot \cos \vartheta \left(\text{ch } u \text{sh } u \frac{\partial B_1^*}{\partial u} - \sin \vartheta \cos \vartheta \frac{\partial B_1^*}{\partial \vartheta} \right) + \right. \\ \left. + \text{ch } u \text{sh } u \frac{\partial B_0^*}{\partial u} - \sin \vartheta \cos \vartheta \frac{\partial B_0^*}{\partial \vartheta} \right\}, \quad (24)$$

$$\sigma_{u\vartheta}^{**} = -\frac{F \hat{\sigma}_1}{2(\text{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta)} \left\{ (\text{sh}^2 u + \sin^2 \vartheta) \left[(1 - 2\nu_a) \left(\text{sh } u \cos \vartheta \frac{\partial B_1^*}{\partial \vartheta} - \text{ch } u \sin \vartheta \frac{\partial B_1^*}{\partial u} \right) - \right. \right. \\ \left. - \text{ch } u \cos \vartheta \frac{\partial^2 B_1^*}{\partial u \partial \vartheta} - \frac{\partial^2 B_0^*}{\partial u \partial \vartheta} \right] + \text{ch } u \cdot \cos \vartheta \left(\sin \vartheta \cos \vartheta \frac{\partial B_1^*}{\partial u} + \text{ch } u \text{sh } u \frac{\partial B_1^*}{\partial \vartheta} \right) + \\ \left. + \sin \vartheta \cos \vartheta \frac{\partial B_0^*}{\partial u} + \text{ch } u \text{sh } u \frac{\partial B_0^*}{\partial \vartheta} \right\},$$

де

$$B_0^* = 0,5r^2(\lambda^2 - \lambda^{-1})F B_0, \quad B_1^* = 0,5r(\lambda^2 - \lambda^{-1})^{0,5} F B_1.$$

Компоненти тензора напружень аморфного середовища $\mathbf{T}^a$ виразимо як суму напруження однорідної взаємодії σ_u^o і σ_{u9}^o (13), напруження, що відповідає першому розсіяному полю σ_u^* і σ_{u9}^* (19), і напруження, що відповідає другому розсіяному полю σ_u^{**} і σ_{u9}^{**} (24):

$$\sigma_u^a = \sigma_u^o + \sigma_u^* + \sigma_u^{**}, \quad \sigma_{u9}^a = \sigma_{u9}^o + \sigma_{u9}^* + \sigma_{u9}^{**}. \quad (25)$$

Відповідні їм компоненти вектора переміщення $\mathbf{u}_a$ запишемо як суму компонентів вектора переміщення: в результаті однорідної взаємодії u_u^o і u_9^o (15), в результаті дії першого розсіяного поля u_u^* і u_9^* (17) і другого розсіяного поля u_u^{**} і u_9^{**} (22):

$$u_u^a = u_u^o + u_u^* + u_u^{**}, \quad u_9^a = u_9^o + u_9^* + u_9^{**}. \quad (26)$$

Невідомі постійні α_1^c , α_2^c , A і F , що входять в рівняння (10), (11), (25), (26), визначаємо з крайових умов, в якості яких використовуються умови ідеальності адгезійної взаємодії сфероліту і аморфної фази, що виражається в безперервності полів напружень і зміщень у такому вигляді:

$$u_u^c = u_u^a, \quad u_9^c = u_9^a, \quad \sigma_u^c = \sigma_u^a, \quad \sigma_{u9}^c = \sigma_{u9}^a. \quad (27)$$

Задовольняючи умовам безперервності полів напружень і деформацій на поверхні сфероліта ($u = u_0 = \text{const}$) при підстановці рівнянь (10) в (25) і (11) в (26), отримаємо вирази для невідомих постійних α_1^c , α_2^c , A і F через напруження однорідної взаємодії α_1^o . Через громіздкість викладень і формул наведемо вирази тільки для постійних A і F , які будуть використані в подальшому при визначенні напруження однорідної взаємодії α_1^o та ефективного модуля пружності E_1 :

$$A = \alpha_1^o \left(\frac{2[E_c(1+v_a) - E_a(1+v_c)]\{E_c(1+v_a)\beta_1 - E_a[(1-v_c)\beta_4 + (1-3v_c)(\beta_3 + \beta_4)]\} - [E_c(1+v_c)\gamma_3 - E_a(1+v_a)\gamma_2]\{E_c(1+v_a)\beta_1 - E_a[(1-v_c)\beta_4 + (1-3v_c)(\beta_3 + \beta_4)]\} + - [E_c(1+v_a)\beta_2 + E_a(1+v_c)\beta_3][E_c(1-v_a) - E_a(1-v_c)]}{[E_c(1+v_c)\gamma_3 - E_a(1+v_a)\gamma_2]\{E_c(1+v_a)\beta_1 - E_a[(1-v_c)\beta_4 + (1-3v_c)(\beta_3 + \beta_4)]\} + - [E_c(1+v_a)\beta_2 + E_a(1+v_c)\beta_3][E_c(1-v_a) - E_a(1-v_c)]} \right), \quad (28)$$

$$F = \alpha_1^o \left(\frac{2[E_c(1+v_a)\gamma_2 - E_a(1+v_c)\gamma_3][E_c(1-v_a) - E_a(1-v_c)] - [E_c(1+v_a) - E_a(1+v_c)]\{E_c(1+v_a)\gamma_1 - E_a[(1-v_c)\gamma_4 + (1-3v_c)(\gamma_4 - \gamma_3)]\} - - E_a[(1-v_c)\gamma_4 + (1-3v_c)(\gamma_4 - \gamma_3)]}{[E_c(1+v_a)\beta_2 + E_a(1+v_c)\beta_3]\{E_c(1+v_a)\gamma_1 - E_a[(1-v_c)\gamma_4 + (1-3v_c)(\gamma_4 - \gamma_3)]\} - - [E_c(1+v_a)\gamma_2 - E_a(1+v_c)\gamma_3]\{E_c(1+v_a)\beta_1 - E_a[(1-v_c)\beta_4 + (1-3v_c)(\beta_3 + \beta_4)]\}} \right),$$

де

$$\gamma_1 = \frac{Q_1(\text{chu}_0)}{\text{chu}_0} - \frac{Q_1^{(1)}(\text{chu}_0)}{2\text{shu}_0}, \quad \gamma_2 = \frac{Q_1(\text{chu}_0)}{\text{chu}_0} + \frac{Q_1^{(1)}(\text{chu}_0)}{2\text{shu}_0},$$

$$\gamma_3 = \frac{Q_1^{(1)}(\text{chu}_0)}{\text{shu}_0} - \frac{1}{2\text{chu}_0} \frac{dQ_1^{(1)}(\text{chu}_0)}{du_0}, \quad \gamma_4 = \frac{Q_1^{(1)}(\text{chu}_0)}{\text{shu}_0};$$

$$\beta_1 = (3-4v_a) \frac{Q_1(\text{chu}_0)}{\text{chu}_0} - \frac{Q_1^{(1)}(\text{chu}_0)}{\text{shu}_0} + \frac{\text{chu}_0}{2\text{shu}_0} \frac{dQ_2(\text{chu}_0)}{du_0},$$

$$\beta_2 = (3-4v_a) \frac{Q_1(\text{chu}_0)}{\text{chu}_0} - \frac{Q_1^{(1)}(\text{chu}_0)}{\text{shu}_0} + \frac{3\text{chu}_0}{2\text{shu}_0} \frac{dQ_2(\text{chu}_0)}{du_0},$$

$$\beta_3 = -(1-2v_a) \left(\frac{Q_1(\text{chu}_0)}{\text{chu}_0} + \frac{Q_1^{(1)}(\text{chu}_0)}{\text{shu}_0} \right) + 3 \frac{\text{chu}_0}{\text{shu}_0} \frac{dQ_2(\text{chu}_0)}{du_0},$$

$$\beta_4 = 2(1-2v_a) \left(\frac{Q_1(\text{chu}_0)}{\text{chu}_0} + \frac{Q_1^{(1)}(\text{chu}_0)}{\text{shu}_0} \right) + 3 \frac{\text{chu}_0}{\text{shu}_0} \frac{dQ_2(\text{chu}_0)}{du_0}.$$

Висновки. Таким чином, при орієнтаційній витяжці відбувається перетворення форми сферолітів зі сферичної в еліпсоїдальну, що задовільно узгоджується з результатами електронно-мікроскопічних і дифрактометричних досліджень.

Отримана математична модель орієнтованої сферолітної структури полімерів дозволяє визначати

пружні властивості полімерного матеріалу при його витяжці: в напрямку осі розтягування, в поперечному до осі розтягування напрямку, при поперечному та повздовжньому до осі витяжки зсуві.

В процесі орієнтаційної витяжки в сферолітах відсутня структурна симетрія, так як ламелярні утворення стають орієнтованими в напрямку до центру сфероліта. Це призводить до ізотропності властивостей сферолітів, яка зберігається до ступеня витяжки, що рівна природної, так як деформація ламелярних утворень залежить від їх орієнтації відносно напрямку розтягу.

Ламелярні утворення, що розташовані паралельно напрямку розтягу, розпадаються в центральних областях сфероліту, ламелі, що орієнтовані під кутами $30-60^\circ$ до напрямку розтягу, піддаються міжламелярному зсуву, а ламелі, що розташовані в екваторіальному напрямку, відділяються один від одного.

Тому, для того, щоб розщепити полімерний матеріал на волокна необхідно спочатку піддати його орієнтаційній витяжці, а згодом піддати його поперечному розтягу, повздовжньому зсуву або і тим, й іншим.

Література

1. Перепелкин К. Е. Структура и структурная механика полимерных волокон: современные представления / К. Е. Перепелкин // Химические волокна. – 2009. – № 1. – С. 11–20.
2. Привалко В. П. Молекулярное строение и свойства полимеров / В. П. Привалко – Л. : Химия, 1986. – 240 с.
3. Нильсен Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций / Л. Нильсен – М. : Химия, 1978. – 312 с.
4. Баранов В. Г. Наблюдение прямой генетической связи между сферолитным и ориентационным надмолекулярным порядком / В. Г. Баранов, К. А. Гаспарян, С. Я. Френкель // Докл. АН СССР. – 1968. – Т. 183. – № 1. – С. 137–140.
5. Журков С. Н. Электронно-микроскопическое изучение процесса ориентирования поликапроамида / С. Н. Журков, В. А. Марихин, Л. П. Мясникова, А.И. Слуцкер // Высокомолекулярные соединения. – Сер. А. – 1965. – Т. 7. – № 6. – С. 1041–1044.
6. Каргин В. А. Изучение процессов растяжения и сокращения пленок полиэтилена со сферолитными структурами / В. А. Каргин, В. И. Селихова, П. С. Маркова // Высокомолекулярные соединения. – Сер. А. – 1965. – Т. 7. – № 9. – С. 1495–1499.
7. Марихин В. А. Надмолекулярная структура полимеров / В. А. Марихин, Л. П. Мясникова – Л. : Химия, 1977. – 240 с.
8. Баранов В. Г. Особенности ориентационного надмолекулярного порядка, образующегося при растяжении сферолитных пленок полиэтилена высокого давления / В. Г. Баранов, К. А. Гаспарян, Р. С. Зурабян, Э. С. Эдилян, С. Я. Френкель // Высокомолекулярные соединения. – Сер. А. – 1969. – Т. 11. – № 6. – С. 1247–1256.
9. Samuels R. J. Structured polymer properties / R. J. Samuels // Wiley InterScience. – New York, 1974. – 280 p.
10. Samuels R. J. Structure spherulite, morphology of deformation and mechanical properties isotactic polypropylene / R. J. Samuels // J. Polymer Sci. – 1967. – Vol. 11. – № 20. – P. 253–284.
11. Джейл Ф. Х. Полимерные монокристаллы / Ф. Х. Джейл ; под ред. С. Я. Френкеля. – Л. : Химия, 1968. – 551 с.
12. Синюк О.М. Модель будови недеформованих полімерів сферолітної структури / О.М. Синюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – № 3 (237). – С. 181–188.
13. Ванин Г. А. Микромеханика композиционных материалов / Г. А. Ванин – Киев : Наук. думка, 1985. – 304 с.
14. Подильчук Ю. Н. Трехмерные задачи теории упругости / Ю. Н. Подильчук – Киев : Наук. думка, 1979. – 240 с.
15. Подильчук Ю. Н. Пространственные задачи механики горных пород / Ю. Н. Подильчук – Киев : Наук. думка, 1983. – 160 с.

Рецензія/Peer review : 26.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 12.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Диха О.В.

ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ВИРУБНИХ ШТАМПІВ

В роботі розглянуті основні напрямки підвищення довговічності штампового інструменту при листовому штампуванні. Приведений аналіз способів обробки поверхонь робочих частин штампів. На основі експериментальних даних показано, що алмазне вигладжування дає підвищення зносостійкості пуансонів порівняно із шліфуванням. Обґрунтована доцільність комплексного застосування різних методів підвищення довговічності робочих частин штампів. Застосування хіміко-термічних методів дозволяє проводити найбільш ефективно зміцнення внутрішніх контурів матриць, які інтенсивно піддаються зношуванню.

Ключові слова: течія металу, деформації, видавлювання, матриця, пуансон, штамп, робоча поверхня, зношування

Y.V. SAVITSKY

Khmelnytsky National University

TECHNOLOGICAL METHODS TO INCREASE DURABILITY OF BLANKING DIES

In this work the basic directions of increasing longevity stamping tool for stamping sheet. The analysis methods of surface treatment work pieces stamps. Based on experimental data show that diamond burnishing allows increasing durability of punches compared to grinding. The expediency of complex use of different methods to increase the durability of working parts stamps. The use of chemical and thermal methods allows for the most effective strengthening internal circuits matrices are extensively exposed to wear.

Keywords: matrix, punch, stamping, work surface, wear

Постановка проблеми. Листове штампування є широко поширеним і досить прогресивним різновидом технології обробки металу тиском. Використовуючи, листове штампування можна виготовляти велику номенклатуру найрізноманітніших плоских і просторових деталей. Листове штампування знаходить застосування у всіх галузях виробництва, пов'язаних з виготовленням металевих деталей, особливо велике застосування воно знаходить у таких галузях, як авто-, тракторо- та літакобудування, в оборонній промисловості, приладобудуванні, при виготовленні предметів домашнього ужитку і т. д.

Аналіз останніх досліджень. Зміна механічних, а іноді і фізико-хімічних властивостей металу в процесі його пластичного деформування відкриває додаткові можливості (понад технологічних і конструктивних можливостей листового штампування) створення максимально полегшених конструкцій при заданій їх міцності і жорсткості. Створюються абсолютно нові способи штампування, наприклад вибухова й електромагнітна; докорінно змінюються звичайні способи штампування введенням, наприклад, диференційованого нагріву заготовки; створюються машини, що відкривають нові технологічні можливості, наприклад для давальних робіт з потоншуванням заготовки і т. п. У цих умовах особливо актуальною стає задача удосконалення технології проектування розділювальних штампів, що дає мінімальні трудомісткості і собівартість виготовлення заданих деталей при найкращій їх якості.

Виділення невирішеної раніше частини загальної проблеми. Проаналізувавши основні тенденції розвитку методів інтенсифікації, теоретичного аналізу й автоматизованого проектування процесів листового штампування [1], встановлено, що основними напрямками інтенсифікації процесів листового штампування є розробка й освоєння нових методів деформування, удосконалення методів теоретичного аналізу, а також розробка й освоєння нових методик і систем автоматизованого проектування. Класифікацію методів інтенсифікації формозмінювальних процесів листового штампування можна провести по трьом способам: блокування небезпечного перерізу, зменшення радіальних напружень і зміна механічних властивостей матеріалу заготовки при деформуванні. Розробка й освоєння нових методів деформування зв'язані з великими матеріальними і часовими витратами, які не задовольняють вимогам до термінів технологічної підготовки сучасного виробництва. Методи теоретичного аналізу не враховують повною мірою усіх факторів, що впливають на напружено-деформований стан металу при штампуванні і не дозволяють прогнозувати такі важливі показники якості, як різна товщина і механічні властивості уздовж утворюючої деталі (напівфабрикату) або не дозволяють аналізувати різноманітні технологічні і конструктивні рішення через трудомісткість їхніх розрахунків. Розробка й освоєння систем автоматизованого проектування, в основу яких покладені довідкові рекомендації, приводить до призначення зайвих операцій, тому що узагальнені довідкові рекомендації не враховують особливості виготовлення різних деталей і часто виявляються наближеними. Обґрунтований вибір напрямку інтенсифікації і методики теоретичних і експериментальних досліджень процесів листового штампування порожнистих вісесиметричних деталей. Приведені фактори, що впливають на вибір і послідовність технологічних операцій у цілому.

Виклад основного матеріалу. Як напрямок інтенсифікації формозмінювальних процесів листоштампувального виробництва запропонована методика багатоваріантного проектування, в основу якої покладені узагальнені математичні і геометричні моделі для поетапного і по елементного моделювання напружено-деформованого стану, що враховують технологічні, конструктивні і експлуатаційні особливості

деталей, які штампуються, а також вплив різних граничних умов, зв'язаних з різноманітністю способів формозміни. Для теоретичного аналізу обраний кінцево-різницевий підхід, заснований на рекурентному рішенні умови статичної рівноваги виділеного елементарного об'єму металу в місці найбільшої деформації. В основу експериментальних досліджень покладені методи тензометрії для визначення енергосилових параметрів, метод координатних сіток для визначення деформованого стану і метод виміру твердості для визначення механічних властивостей деталей.

В роботі [2] в результаті досліджень робочих частин штампів, проведених у виробничих умовах, отримана порівняльна оцінка зносостійкості штампового інструменту, виготовленого з сталей малої (У8А, У10А), підвищеної (ХВГ, 9ХС) і високої (Х12М) загартованості. Стійкість інструменту встановлювалася виходячи з фактичних витрат штампів. В результаті проведених випробувань встановлено величини сумарного зносу сталевих пуансонів і матриць, виготовлених з різною вихідною шорсткістю. Видно, що знос пуансонів штампів зі сталі Х12М найменший, а шорсткість поверхонь робочих частин повинна становити: по торцях - $Ra = 1,25-2,5$ мкм, по бічних поверхнях $Ra = 0,63-1,25$ мкм. Велика величина шорсткості по торцевій поверхні пояснюється інтенсифікацією тертя, що пов'язано з необхідністю зменшення ковзання металу заготовки. Можна зробити висновок, що сліди обробки впливають на знос пуансонів і матриць у взаємно перпендикулярних перерізах (рис. 1). Найбільш сприятливий варіант "а" (рис. 1). Можна запропонувати кілька способів обробки поверхонь робочих частин штампів - хіміко-термічна обробка (ХТО), поверхневе пластичне деформування, електроерозійного легування, лазерна термообробка, а також нанесення різних зносостійких покриттів.

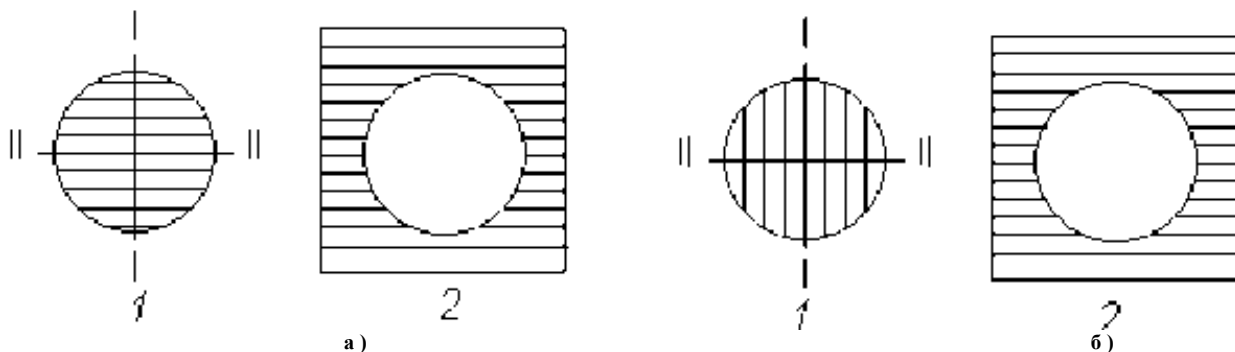


Рис. 1. Схема варіантів розташування пуансона 1 і матриці 2 залежно від слідів обробки: а – паралельне; б – перпендикулярне

В результаті алмазного вигладжування утворюється поверхню з нерівностями специфічної форми, яку можна отримати при лезових і абразивних способах обробки. Для новоствореного мікрорельєфу зміцненої поверхні характерно велике відношення кроку нерівностей до їх висоти; високий ступінь однорідності нерівностей як за формою, так і по висоті; малі кути нахилу; великі радіуси заокруглення вершин виступів і дна впадин, що визначає полого обтічну форму нерівностей. Специфічний мікрорельєф в поєднанні з високими мікротвердістю і залишковими напруженнями стиску в тонкому поверхневому шарі забезпечує істотне підвищення зносостійкості робочих частин штампів.

В результаті експериментів отримано ряд залежностей шорсткості Ra від сили вигладжування P_y , радіусу робочої частини алмаза $V_{сф}$ і подачі S (рис. 2) при вигладжуванні бічних робочих поверхонь пробивних пуансонів зі сталі У10А, термообробленою до HRC 50-55. Результати виробничих стійкісних випробувань шліфованих і вигладжуваних пуансонів при пробиванні отворів діаметром 4 мм в деталі зі сталі 20 товщиною 1,6 мм наведені на рис. 3. З отриманих результатів видно, що знос вигладжуваних пуансонів приблизно в 1,5-2,5 рази менше шліфованих. Підвищення зносостійкості пуансонів після вигладжування пояснюється зміцненням металу в тонкому поверхневому шарі, поліпшенням умов змащування та теплопроводу із зони пластичної деформації.

Дослідження робочих частин штампів з різними варіантами комбінованих покриттів (пуансон з покриттям – матриця без і навпаки; матриця і пуансон з різними покриттями) показали, що це дозволяє забезпечити рівну стійкість робочих частин штампа (скорочується число планових ремонтів в 1,5-2,0 рази) з одночасним підвищенням періоду їх стійкості в 1,5-7,0 разів (залежно від варіанту поєднання). Доцільно комплексне застосування різних методів підвищення довговічності робочих частин штампів. Застосування хіміко-термічних методів дозволяє проводити найбільш ефективно зміцнення внутрішніх контурів матриць, інтенсивно піддаються зносу. Довговічність підвищується в 2-3 рази. А використання пуансона з зносостійким покриттям в сукупності з матрицею після хіміко-термічних методів значно підвищує межу економічної ефективності штампа (до –10 тис. шт. отворів) (рис. 4). При такому поєднанні отримано найкращий результат.

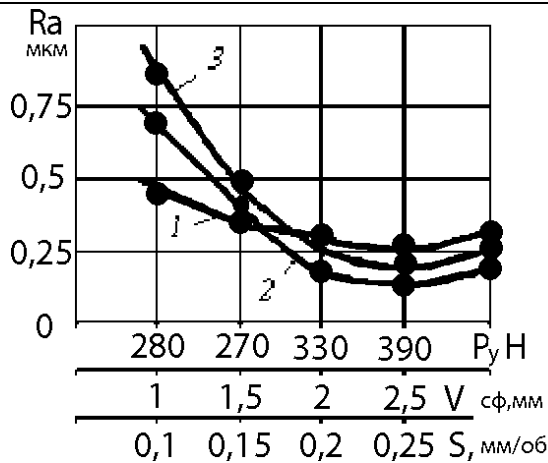


Рис. 2. Залежність шорсткості поверхні Ra від сили вигладжування P_y (1), радіуса робочої частини алмаза V_{sf} (2) і подачі S (3)

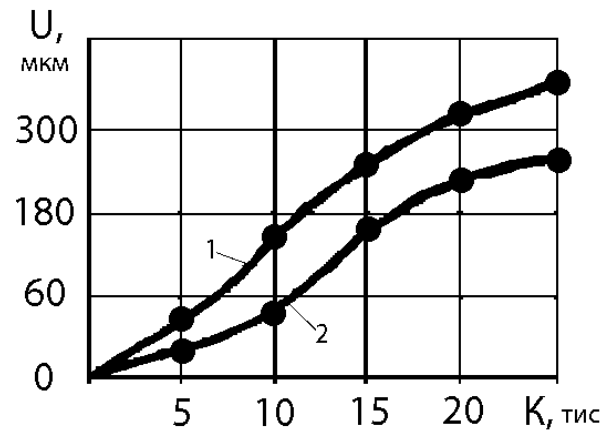


Рис. 3. Зміна лінійного зносу і пуансона в залежності від числа K пробитих отворів: 1 - шліфованих; 2 - вигладжуваних пуансонів

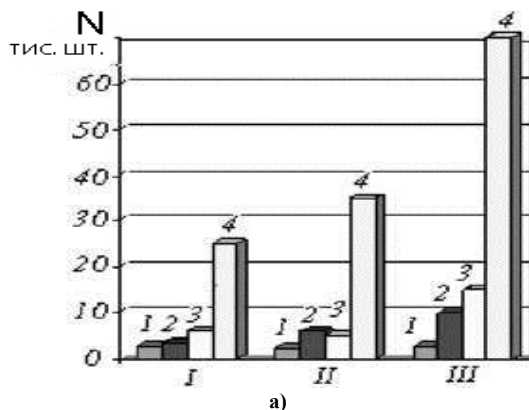


Рис. 4. Діаграми стійкості N пуансонів (а) і матриць (б) для пробивки отворів в аркушах товщиною 2,5 мм: I - сталь для глибокої витяжки; II - сталь з вмістом вуглецю 0,6%; III - конструкційна сталь із вмістом вуглецю 0,3%; 1 - без покриття; 2 - азотування; 3 - борування; 4 - покриття карбідом титану

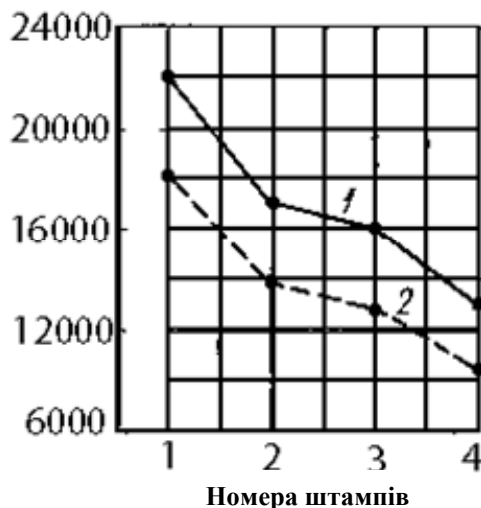


Рис. 5. Вплив травлення матеріалу на стійкість виробних штампів (матеріал - сталь товщиною 1 мм): 1 - матеріал травлений і змащений; 2 - матеріал нетравлений і змащений

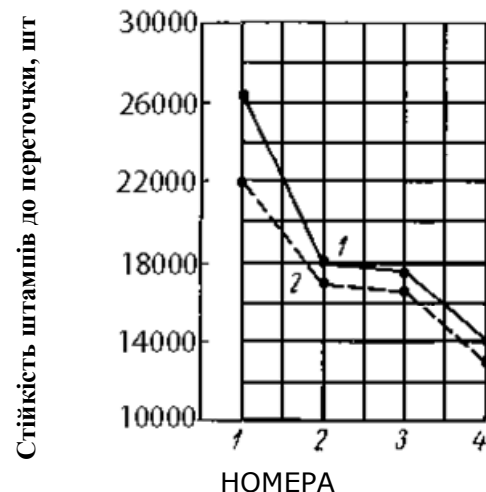


Рис. 6. Вплив мастила на стійкість виробних штампів: 1 - матеріал змащений; 2 - матеріал не змащений

З метою збереження штампів [3] від передчасного зносу необхідно застосовувати метал з чистою поверхнею. Наявність окалини або піску на поверхні заготовки викликає підвищений знос штампів. При цьому на виробних штампах знос виражається звичайно в передчасному затупленні ріжучих кромek матриці і пуансона, на формозмінних штампах - в утворенні передчасних подряпин і рисок через втирання і прилипання частинок металу до стінок матриці. Для оберігання від вищевказаних явищ матеріал або заготовку перед штампуванням необхідно піддати травленню у відповідних кислотах з подальшим промиванням в холодній і гарячій воді і нейтралізацією в лужних розчинах при температурі 60–70 °С (рис. 5, 6). Проведені дослідження [4] показують, що стійкість штампів при штампуванні травлених матеріалів (м'яка

сталь) товщиною до 1 мм на 16%, а при товщині до 1,5 мм – на 20% вище, ніж при штампуванні не травлених матеріалів.

Висновки і перспективи розвитку напрямку. При проектуванні розділювальних штамтів основною задачею залишається зменшення терміну проектування, а також підвищення стійкості компонентів штампа (матриці, пуансона). Стійкість штамтів можна значно підвищити технологічними методами. Стійкість пуансонів та матриць до 1,5-2 разів можна підвищити комплексними методами, які включають технологічні методи поверхневого зміцнення матеріалу. Найбільш ефективно є нанесення на поверхню пуансонів покриття нітриду титану іонно-плазмовим методом. Також слід застосовувати змащування матеріалу, що підвищує стійкість вирубних штамтів в 1,3-1,7 разів.

Література

1. Бурыкин В.В. Технологические методы повышения долговечности штамповой оснастки. Процессы механической обработки в машиностроении / Бурыкин В.В. / Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – К., 2009. – С. 26–36.
2. Тополянский П.А. Многократное повышение стойкости вырубных штампов / П.А. Тополянский, С.А. Ермаков // Инструмент и технологическая оснастка: методы повышения эффективности : мат. науч.-техн. семинара, 26–28 марта 2002 г. – Санкт-Петербург, 2002. – С. 24–28.
3. Зубцов М.Е. Стойкость штампов / Зубцов М.Е. – М. : Машиностроение, 1971. – 200 с.
4. РТМ 34-65. Штампы для холодной листовой штамповки. Расчеты и конструирование. – М. : Изд-во стандартов, 1966. – 270 с.

Рецензія/Peer review : 13.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 12.12.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Гордєєв А.І

УДК 681.51:664.65(045)

В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, Д.Ю. КЛЮЄВ, С.М. КОРЖОВ

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, Кривий Ріг

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТА МОНІТОРИНГУ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ЗАВОДІВ

У роботі розглянуто та запропоновано метод моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання хлібозаводу та якості продукції. Розроблено інтелектуальну систему управління та контролю технологічним процесом виробництва хліба з підсистемами підготовки сировини, опари, тіста та випікання тістових заготовок. Доведено, що довготермінові зміни робочих характеристик обладнання повинні бути враховані при проектуванні систем інтелектуального управління технологічними лініями хлібозаводів з виробництва К-сортів хліба на рівні локальних фаззи-систем автоматизованого контролю та управління. Обґрунтовано роль експертних систем управління з агентськими технологіями моніторингу робочих характеристик обладнання заводу, якості сировини і води та їх взаємодію з локальними системами керування й фаззи-системами стабілізації параметрів опари та випікання тістових заготовок.

Ключові слова: моніторинг, процес, експертна система, адаптація, нечітке фаззи-керування, інтелектуальне управління.

V.P. KHOROLSKYI, D.YU. KLYUEV, S.M. KORGOV

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih

INTELLECTUAL CONTROL SYSTEM AND MONITORING OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF BAKERY PLANTS

In the article developing a method of monitoring performance of technological equipment of the bakery's product quality. Developed an intellectual control system and control technological process of bread production with the subsystems of raw material preparation, dough, dough and baking dough pieces. It is proven that long-term changes in equipment performance should be taken into account in the design of intelligent control systems of technological lines for bakery production of breads at the local level fuzzy systems for automatic control and management. The role of expert control systems with agent technology monitoring equipment performance of the plant, quality of raw materials and water and their interaction with the local control systems fuzzy systems of stabilization settings dough and baking the dough pieces.

Keywords: monitoring, process, expert system, adaptation, fuzzy logic, fuzzy control, intelligent control.

Вступ

На даному етапі розвитку, в харчовій промисловості використовуються складні й трудомісткі технології, які потребують розробки комплексного підходу щодо автоматизації, роботизації технологічних процесів даних підприємств. Впровадження прогресивних технологій, механізації й енергоефективності дозволяє зменшити витрати на виробництво 1 тони хліба та підвищити продуктивність праці на хлібозаводах. Велике значення при цьому набуває розробка та впровадження інтелектуальних систем управління з неймережевими моделями моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання хлібобулочних заводів. Технологічне обладнання по характеру й впливу на сировину або на півфабрикати може бути розділено на машини й обладнання. Завданням машин є механічне оброблення сировини або напівфабрикатів шляхом впливу на їх робочі органи за рахунок перетворення механічної енергії. У технологічних апаратах процес виготовлення продукції виконується за рахунок теплових, електричних, фізико-хімічних, біологічних та інших впливів які викликають зміни фізичних, хімічних та механічних властивостей або агрегатного стану обробленого продукту. Таким чином, технологічна лінія з виробництва хліба, починаючи від завантаження муки до одержання готової продукції являє собою складну динамічну систему із розподіленими в часі параметрами керування; характеризується затримкою у 9-10 годин, а отже є об'єктом досліджень з позиції розробки інноваційного технологічного обладнання, систем моніторингу робочих характеристик та впровадження енергоефективних технологій виробництва хліба.

Аналіз досліджень і публікацій

Розробка технологій виробництва екологічнобезпечної продукції для населення, що мешкає на територіях з техногенним забрудненням ставить перед менеджерами підприємств наступні завдання : вибір ефективних шляхів (що надають швидкий економічний ефект) розв'язання вищезазначеної проблеми підвищення продуктивності хлібобулочного виробництва та якості продукції з одночасним зменшенням її собівартості; надійного функціонування основного технологічного обладнання за рахунок розробки та впровадження багаторівневих інтелектуальних автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП) з контурами оцінки якості продукції та моніторингу робочих характеристик обладнання ; виробництва продукції, яка відповідає державним стандартам України та країн ЄС. Проведений аналіз відомих технологій виробництва хлібобулочних виробів [1] дозволив зробити висновок, що дане виробництво є типовим нелінійним багаторівневим процесом харчової промисловості [2] для якого, реалізація програм інтелектуального управління підприємством і його роботизації пов'язана з розробкою на базі агентських систем [3] технологій моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання

хлібобулочних заводів та адаптивних систем контролю і управління виробництвом хліба зменшити їх енергоспоживання [4]. Аналітичний огляд наукових праць пов'язаних з виробництвом якісної продукції українських вчених: М.В. Васьківа, В.В. Івашука [5], В.Г. Мирончука [6]; закордонних вчених: У.Е. Демінга, К. Ісікава, Е. Кондо [7], – свідчить про те, що такі системи можуть ефективно працювати в комплексі з контурами моніторингу якості та робочих характеристик технологічного обладнання. За рахунок впровадження АСУТП виробництва продукції значно покращуються вихідні показники хлібопекарських виробництв, що дозволяє при застосуванні сучасних інтелектуальних технологій керування складними динамічними процесами, виробляти лише якісну продукцію [7–9]. Таким чином, до теоретичних напрацювань і проектних рішень вчених [9] щодо виробництва якісної продукції необхідно додати чинники інтелектуального управління підприємствами харчової промисловості з контурами моніторингу якості й робочих характеристик обладнання на базі агентських систем, що дозволить виробляти екологічнобезпечну продукцію для населення, яке проживає на територіях з техногенним тиском. Отже, розробка систем інтелектуального управління й моніторингу технологічного обладнання та якості сировини і продукції на базі агентських систем з метою ефективного керування нестационарними об'єктами є актуальною науковою задачею.

Мета статті

Метою роботи є підвищення ефективності керування виробництвом хліба для територій з техногенними забрудненням шляхом застосування систем моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання та інтелектуального управління на основі нечітких мережевих структур в умовах постійного контролю якості сировини, води та інших компонентів встановлених державними стандартами України та країн ЄС.

Виклад основного матеріалу

Сучасні системи інтелектуального управління і контролю технологічним процесом (ІУКТП) виробництва хліба – це робастні системи в яких знання про нечіткі характеристики об'єкту управління і навколишнього середовища (в якому працює підприємство) формуються у процесі навчання й адаптації. Одержана при цьому інформація використовується в процесі автоматичного прийняття рішень таким чином що ефективність керування технологічними апаратами машинами й технологічними лініями з виробництва N-видів продукції й підприємства в цілому покращуються [8].

Поточні лінії хлібопекарного виробництва складаються з n елементарних технологічних операцій. У процесі розробки систем автоматизації вони повинні бути робастними і мати прості математичні моделі та просте програмне забезпечення, якими повинні легко користуватись оператори-технологи та інженери з автоматизації. Оперативному персоналу повинні бути доступними такі процедури як реконфігурування автоматики та управління процесом в інтелектуальній манері досвідченого технолога-експерта [9]. Таким чином, знання технологічних операцій дозволяє побудувати ІУКТП з адаптивними системами керування технологічними процесами виробництва хліба високої якості, мінімізуючи енергозатрати. З метою побудову локальних систем автоматичного керування з адаптивними властивостями виділимо наступні технологічні операції, які визначають продуктивність, якість, енергоефективність процесів виробництва хліба:

1 – підготовку сировини до виробництва (збереження, змішування, аерація, просіювання і дозування муки, очищення води, розчинів солі, цукру, жирів й дріжджових емульсій їх темперування й дозування, мийка та очистка;

2 – заміс й бродіння опари та тіста (заміс тіста виконується впродовж 3–20 хвилин при 28...30 град, бродіння опари впродовж 2-4 години, тіста 1-2 години), щільність пшеничного тіста після замісу складає 1200 кг/м³, на при кінці бродіння -500 кг/м³;

3 – розділення - поділення готового тіста на куски однакової маси (піддається багаторазовому механічному впливу до 0,1...0,2 МПа);

4 – формування (механічна обробка заготовок з тіста із метою надання їм визначеної форми й створення на поверхні потовщеного шару що спонукає до покращення формо- й газоутримання);

5 – витримка (сформованих тістових заготовок у спеціальних камерах впродовж 20–50 хв, при температурі 35–40 град і відносної вологості повітря 80–85 %);

6 – гіротермічна обробка й випічка (виконується впродовж 2-3 хв у парових камерах й промислових печах при температурі 100–160 град та відносної вологості повітря 70...85 %, випікання виконується при змінних температурних режимах печі 250-150 град впродовж 10-60 хв при зниженій вологості середовища пічної камери;

7 – охолодження та зберігання продукції (виконується у приміщеннях до кімнатної температури впродовж 1-2 год).

Значній кількості технологічних процесів виробництва хлібобулочних виробів із борошна з різними хлібопекарськими якостями властива проблема неможливості прямого контролю параметрів робочих характеристик процесу, за допомогою яких може здійснюватись ефективне автоматичне керування на нижньому рівні ІУКТП. Контроль таких чинників виконується, як правило, візуально на базі оцінок персоналом. Тому ряд технологічних параметрів робочих характеристик можливо оцінити за допомогою непрямих показників процесів виробництва продукції. З використанням сучасних інформативних технологій

побудуємо експертну систему оцінки робочих характеристик процесу виробництва хліба.

Розглянемо деякі характерні параметри важливих технологічних характеристик борошна, води, солі, цукру, маргарину, олії рослинної та розпушувачів (дріжджі пресовані). Якість борошна операційні менеджери оцінюють за наступними параметрами: колір, запах, смак, крупність, помелу, волосність, білість, масова частка домішок, зараженість шкідниками хлібних злаків, масова частка клейковини та її якість колір борошна є характерною ознакою його якості. Наприклад, експерт з якості оцінює якість борошна по відтінку, зольність і білість характеризують сорт борошна. Величина зольності залежить від вмісту в борошні периферійних частинок зерна, які є основними носіями мінеральних речовин і обумовлюють його колір. Кількісні і якісні характеристики клейковини визначають його якість (за ДСТУ цей показник встановлено на рівні для борошна вищого сорту – 24%, I сорту – 25%, II сорту – 21%, обойного борошна 18%). Важливим показником є кислотність борошна, яка характеризує його сорт і свіжість та впливає на смак і запах хліба. Якість хліба пшеничного на заводах оцінюють органолептично за зовнішнім видом, станом м'якушки, смаком і запахом. Завдяки різним технологіям виробництва хліба, розроблених авторами [11–13] можливо одержати важливу експертну інформацію про характеристики сировини, води, інших компонентів, які в процесі виробництва визначають якість хліба та відповідність його державним стандартам України та країн ЄС [14, 15].

При оцінці фізико-хімічних показників визначають вологість м'якушки, кислотність і пористість. Підвищена вологість знижує живильну цінність хліба, погіршує його смак і скорочує термін зберігання. При цьому відомо, що чим вищий сорт борошна, тим менше норма вологості хліба. По чинникам кислотності експерти оцінюють смакові властивості хліба, а головне судять про правильність ведення технологічного процесу, чим вище пористість виробу, тим довше хліб зберігає свіжість і краще засвоюється організмом. Отже для кожного сорту хліба необхідно розробити адаптивний технологічний режим (адаптивну технологічну карту) гігromетричної та теплової обробки виробу та реалізувати систему адаптивного керування елементарною технологічною операцією. З експертними системами управління; представлення знань у вигляді правил-продукцій виду «якщо..., то...»; системи у моніторингу робочих характеристик обладнання та якості води, сировини, опари, тіста, хліба; методику нечіткого управління та з формуванням логічного рішення щодо зміни структури управління. На рис. 1 наведено структуру інтелектуальної системи контролю й управління технологічним процесом ІУКТП виробництва хліба для населення що мешкає на забруднених територіях. Головними елементами такої ІУКТП є системи: моніторингу робочих характеристик обладнання (СМРХО); моніторингу якості води, сировини, опари, тіста, хліба (СМЯ); експертні системи управління виробництвом хліба (ЕСУ). У процесі виробництва різних сортів хлібобулочних виробів, життєвий цикл яких може змінюватись у залежності від портфеля замовлення, ІУКТП за допомогою підпрограми «Економіка» виконує:

1. Розрахунки щодо обсягів споживання борошна, води, електрики, газу та інших компонентів (солі, дріжджів, олії, маргарину тощо). У режимі реального часу виконується також розрахунок співвідношень компонентів опари та тіста. При цьому додаткові сервіси щодо операційного планування, розрахунку життєвого циклу, оцінки капіталу, рентабельності й прибутку виконуються на верхньому рівні за допомогою ERP й MES систем. Ця інформація віддзеркалюється за допомогою монітору корпоративної продуктивності (МКП) й надходить до автоматизованого робочого місця оператора (АРМО) та особи, що приймає рішення (ОПР);

2. Оцінку добового обсягу виробництва n сортів хлібобулочних виробів, фактичної продуктивності хлібозаводу, запасів борошна та інших компонентів;

3. Оцінку фактичного споживання газу, електроенергії, води.

Отже на верхньому рівні підприємства ІУКТП виконує адміністративно-менеджерські функції, головними з яких є складання й корекція графіка виробництва k -видів продукції у залежності від поточного стану портфеля замовлення. На цьому рівні система автоматизації узгоджує умови на випуск продукції з ресурсами (якістю сировини, станом й виробничими потужностями обладнання). Крім цього система організує використання апаратів та машин технологічних ліній з виробництва хлібобулочних виробів у функції часу, необхідного для виробництва заданого портфелем замовлень партії продукту з урахуванням того факту що деякі продукти не можливо завантажити у одні й ті ж апарати. Таким чином, сучасні ІУКТП повинні мати високий рівень управління на рівні партії продуктів харчування, а на рівні технологічних апаратів й машин та їх робочих процесів повинні бути робасними й побудованими на базі нечіткої логіки [8].

Багатоцільову оптимізацію процесу виробництва хліба запишемо наступним чином:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{\text{вир}}(x_t, y_t) \rightarrow \max \\ We(x_t, y_t) \rightarrow \min \\ Q_{\text{хліб}}(x_t, y_t) \rightarrow \text{optim} \end{array} \right\}, \quad (1)$$

де при обмеженнях:

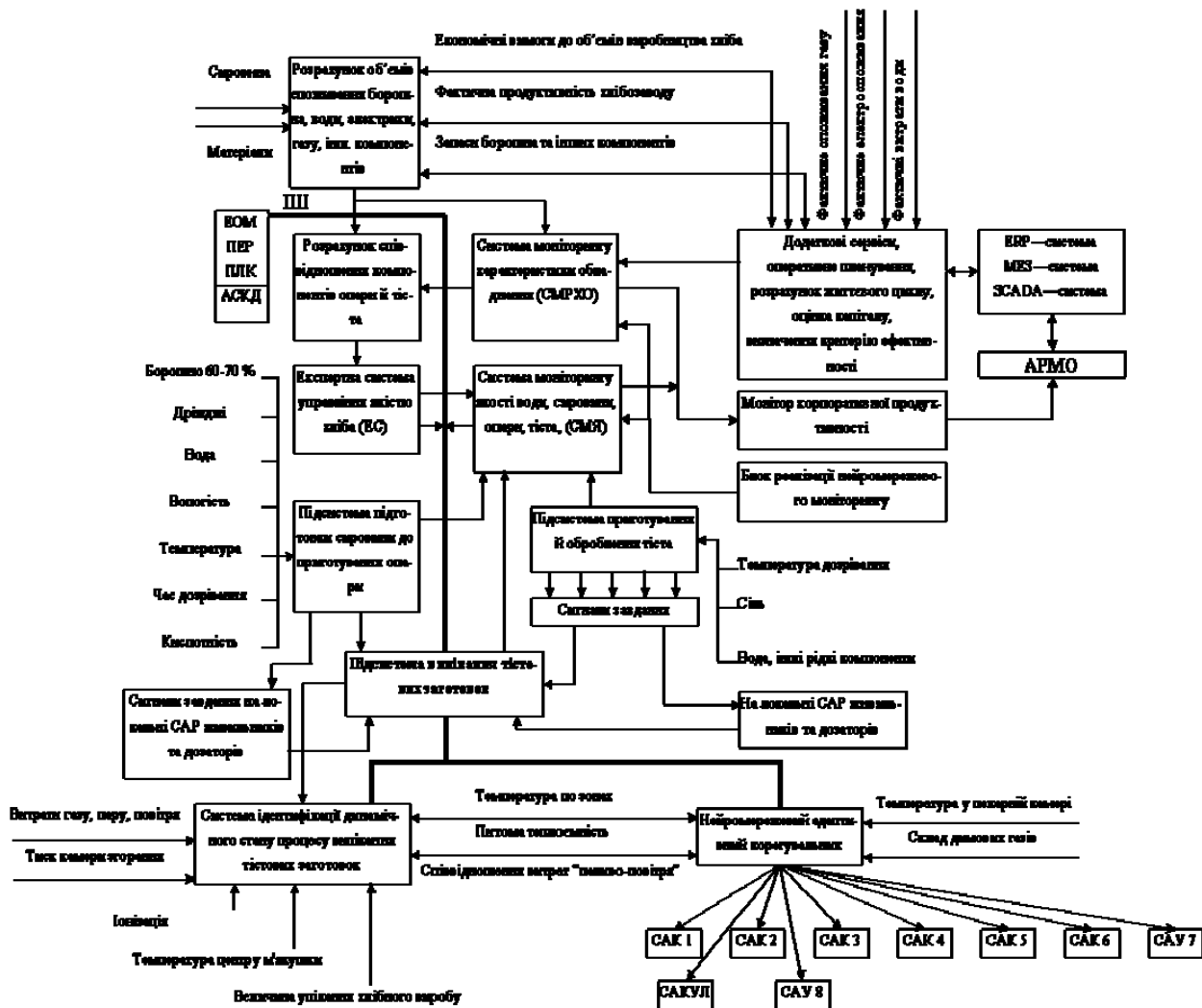


Рис. 1. Структура інтелектуальної системи контролю й управління технологічним процесом

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{i \min} \leq x_i \leq x_{i \max} \\ y_{i \min} \leq y_i \leq y_{i \max} \end{array} \right\},$$

де $x_{i \min} \dots, x_{i \max}$ й $y_{i \min} \dots, y_{i \max}$ – діапазони зміни робочих характеристик машин та апаратів й параметрів процесу виробництва хліба (балансові обмеження);

$y_i(x_i)$ – функціонали, що відображають взаємозв'язки параметрів технологічних процесів виробництва хліба (структурні обмеження);

$We(x_i, y_i)$ – енергетичні параметри виробництва однієї тони хліба;

$Q_{\text{хліб}}$ – якість хліба що відповідає державним стандартам України на країні ЄС.

В умовах нечіткої оптимізації необхідно проводити моніторинг як робочих характеристик обладнання, так й якості сировини, води, опари, тіста, компонентів та хліба. Моніторинг робочих характеристик обладнання, якості води, сировини, опари, тіста дає змогу АРМО та ОПР використовувати інформацію для: аналізу достовірності миттєвих значень й вилучення не достовірних параметрів з бази даних (БД); накопичення значень розрахункових параметрів, які характеризують стан обладнання та його робочих характеристик для подальшого усереднення та аналізу тренду цих параметрів; усереднення значення кожного параметру (спочатку за хвилину, потім за годину); прогнозування на конкретні періоди часу $T_1, T_2, \dots, T_n$ значення параметрів якості опари, тіста й витрат енергоносіїв.

За допомогою SCADA систем ІУКТП має засоби прийому інформації від пристроїв ручного вводу та ЕОМ верхнього рівня управління. Це дає змогу з АРМО вводити необхідні данні, які до цього часу не вдається одержати за допомогою автоматичних датчиків або пристроїв візуалізації та розпізнавання. Наприклад, результати лабораторних аналізів борошна, води щодо визначення свинцю, кадмію, миш'яку, мікротоксинів тощо, можуть бути визначені в хімічній лабораторії та передані до ЕОМ в ручному режимі. За допомогою інформаційної шини (ІШ) інформація з ЕС, СМРХО, СМЯ надходить до підсистем: підготовки сировини та приготування опари, приготування й оброблення тіста, випікання тістових заготовок, а також у систему ідентифікації динамічного стану процесу випікання тістових заготовок та

нейромережевий адаптивний коригувальник. Адаптивний корегувальник змінює уставки систем автоматизованого керування САК1, САК3, САК4, САК5, САК6, САУ6, САУ7 та САКУЛ нижнього рівня виробництвом хлібобулочних виробів по команді з ЕС. При чому в системі моніторингу якості є експертна система-програма, використовуючи знання експертів, приймає рішення про сорт борошна і якість води, що надходить у виробничий процес підготовки опари, а відповідно автоматично змінює структуру САК 2, САК 3, САУ 6. ЕС знаходиться у спеціалізованому модулі, який будемо називати «процесором експертних рішень» (ПЕР). Останній отримує вихідні дані безпосередньо з пам'яті програмованих логічних контролерів (ПЛК) окремих технологічних операцій та СМРХО й СМЯ.

При побудові систем СМРХО, СМЯ використано ряд теоретичних положень агентських технологій, розроблених авторами [3, 11, 12].

Система моніторингу робочих характеристик обладнання технологічних ліній з виробництва хлібобулочних виробів побудована на основі нейромережевої моделі. Вона може працювати як у режимі реального часу (on-line), так й у режимі запису (off-line). В основу розробленої моделі для особи що приймає рішення (ОПР) положено нейронну мережу прямого розповсюдження інформації [18]. Вона складається з вхідного, вихідного й трьох шарів нейронів. При цьому вихід нейрона у шарі (n+1) визначається співвідношенням:

$$Y_j^{n+1} = f(S_j^{n+1}), \quad (2)$$

де $n+1$ – номер шару; j – індекс нейрона у шарі $n+1$ ($j = 1, N_{n+1}$); N_{n+1} – кількість нейронів у шарі $n+1$; f – активаційна функція шару $n+1$.

У нашому випадку для прихованого шару використовується сигмоїдальна активаційна функція виду:

$$f(x) = \frac{1}{(1 + e^{-\alpha x})}, \quad (3)$$

а для вихідного шару – лінійна: $f(x) = \alpha x$; Y_j^{n+1} – вихід j -го нейрону шару $n+1$; S_j^{n+1} – постсиноптичний потенціал j -го нейрону шару, який обчислюється відповідно до формули:

$$S_j^{n+1} = \sum_{k=1}^N W_{jk}^{n+1} Y_k^n + b_j^{n+1}, \quad S^{n+1} = W^{n+1} \tilde{Y}^n, \quad (4)$$

де W_{jk}^{n+1} – ваговий коефіцієнт зв'язку k -го нейрону шару з j -м нейронним шаром $n+1$, Y_k^n – вихід k -го нейрону шару n , $\tilde{Y}^n$ – розширений вектор із врахуванням порогу (bias-нейрону); b_j^{n+1} – bias-нейрон j -го нейрону шару $n+1$ [3].

Мета моніторингу робочих характеристик обладнання у реальному часі полягає у виявленні нормальних аномальних (аварійних) режимів роботи обладнання підприємства з виробництва хліба. З врахуванням цього, для кожного технологічного апарату будується й навчається нейронна мережа таким чином, щоб на виході одержувати значення характеристик обладнання на основі попередньої інформації. У цьому випадку результат роботи нейронної мережі у момент часу $i+m+1$ визначається залежністю

$$y_{i+m+1} = f(C_{i+1}, \dots, C_{i+m}), \quad (5)$$

де f – на нелінійне перетворення, яке виконується нейронною мережею відповідно формулам (2,3); C_i – реалізація вимірювання характеристик обладнання; m – кількість реалізацій.

На основі кількості реалізацій, які були вірно прогнозовані нейронною мережею, ОПР може зробити висновок: чи відповідає поточна поведінка обладнання технологічної лінії з виробництва хліба раніш побудованій моделі. При цьому необхідно враховувати, що в процесі виробництва продукції з часом обладнання змінює свої робочі характеристики, а тому з метою забезпечення адаптації до змін необхідно постійно навчати нейронну мережу. Поточний моніторинг призначений для визначення нехарактерних ознак якості сировини та обладнання, наприклад, для сировини – зміна сорту пшеничної муки, зміна характеристик води, тиску газу, тощо. Цю інформацію будемо використовувати для побудови та навчання нейронної мережі, яка складає 30-50 ітерацій, а час навчання 10 сек.

Вихід нейронної мережі визначається співвідношенням:

$$y_i = f(C_i, O_i, h_i, d_i, S_i) \quad (6)$$

де i – умовний номер сеансу;
 f – нелінійне перетворення, яке виконується нейронною мережею відповідно до формул (1), (2);
 C_i – кількість змін параметрів борошна за добу;
 O_i – результати інтерактивної моделі (відсоток вірно прогнозованих параметрів);
 h_i – номер обладнання;
 d_i – результат контролю;
 S_i – час початку контролю.

При цьому очікуваний вихід d_i може приймати два значення: 1 – нормальний стан обладнання

(сировини); 0 - аномальна характеристика обладнання (сировини).

В цьому випадку нейронна мережа працює в якості класифікатора. Розглянемо принцип дії системи моніторингу виробництва хліба. Вона складається із наступних компонентів:

- агент 1 з інтерактивною моделлю обладнання, який працює в режимі реального часу;
- агент 2 з сенсовою моделлю оцінки якості сировини, води, енергоресурсів, який працює у автономному режимі (Off-line User Agent);
- агент 3 – контролер, який керує роботою інших агентів у системі;
- база даних (БД), яка має дані й параметри існуючих моделей.

Розглянемо кожен із компонентів, запропонованої системи моніторингу більш детально, визначеною на рис. 1 у вигляді блоків СМРХО й СМЯ.

Агент 1, який визначає інтерактивну модель робочих характеристик функціонує під час роботи машин і апаратів в режимі реального часу і дозволяє виявити відхилення від нормального режиму роботи обладнання. У процесі моніторингу даних (вологість борошна та його кислотність, вологість опари та її температура, час дозрівання, вологість та температура тіста, температура хліба тощо) агент прогнозує робочі характеристики які порівнюються з еталонними. Якщо за період $T_{\text{мон}}$ – кількість прогнозованих режимів роботи (на протязі сеансу моніторингу) більше заданого порогу, то будемо вважати, що робоче становище (поведінка) машини, апарату, є нормальним, в іншому випадку – аномальний режим роботи технологічної лінії з виробництва хліба. Крім цього цей агент збирає і накопичує інформацію про робочі характеристики машин й апаратів за допомогою Aglets Software Development Kit (ASDK) [3]. Інформація зберігається у базі даних верхнього рівня управління хлібозаводом. Агент 2 з сеансовою моделлю, функціонує після завершення сеансу роботи системи моніторингу.

На основі збираної агентом 1 інформації СМРХО і СМЯ працюють в режимі реального часу. В той же час агент 2, що відпрацьовує сеансову модель, визначає, настільки відхилення робочих характеристик (параметрів) машин й апаратів були аномальними. Це визначається числом із проміжку (0-1), що вказує ймовірність нормальних режимів роботи машин та апаратів.

Агент 3-контролер відповідає за функціонування системи в цілому, керує роботою інших агентів, створенням різних типів агентів. У процесі одержання інформації із БД про параметри моделі, Агент 2 виконує перенавчання нейронної моделі. Цей період процесу моніторингу будемо називати адаптацією. Агент 3 одержує інтегровані дані про поведінку усіх машин й апаратів. Агент 2 також організує взаємодію в рамках системи моніторингу СМРХО з підсистемами ІУКТП, контролює їх функціонування, а також виконує спілкування між агентами.

Агент 3 доповнює базу даних новими даними про робочі характеристики машин і апаратів. Отже у базі даних зберігається інформація, яка необхідна інтелектуальній системі управління (ІУКТП) підприємства про робочі характеристики технологічних процесів виробництва хліба, електроспоживання, характеристики води, сировини, інших компонентів для функціонування й управління якістю продукції.

Довготермінові зміни робочих характеристик обладнання повинні бути враховані при проектуванні систем ІУКТП заводів з виробництва k - сортів хліба на рівні локальних фаззі-САК. Отже системи повинні адаптуватись в темпі з процесом надходження борошна, дріжджів, води, інших компонентів для приготування опари, а потім виробництва (випічки) хліба. На рис 2 наведено типову блок-схему адаптивної фазі - системи керування параметрами опари, замісу та розділення готового тіста на порції заданої маси та випікання хліба. Адаптація виникає при тривалих і значних змінах параметрів якості борошна, води, дріжджів, олії, маргарину, інших компонентів та їх відхилення від заданих стандартами якості [14].

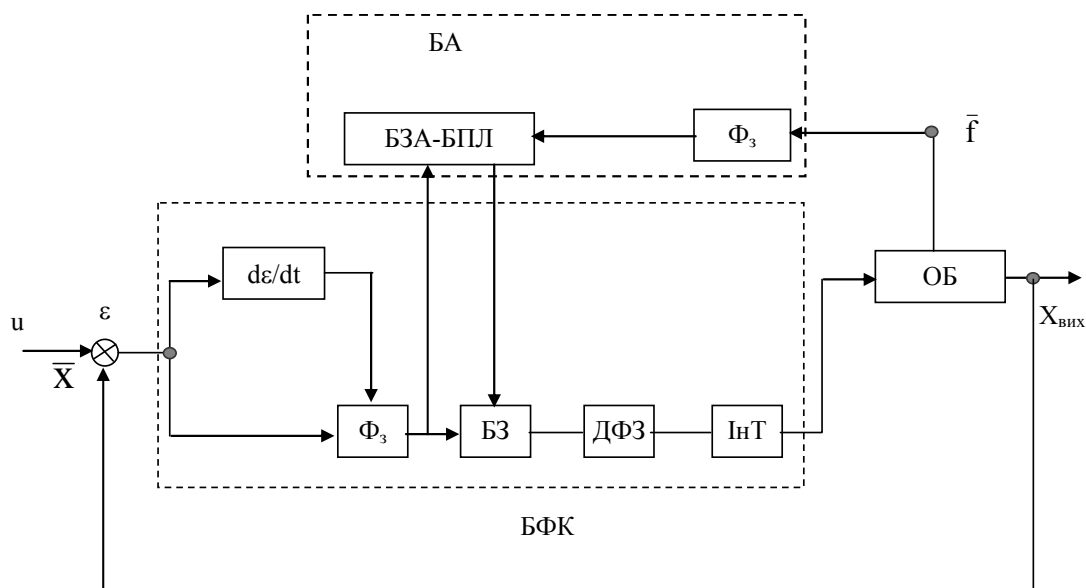


Рис. 2. Схема адаптивної фаззі-системи керування параметрами опари, замісу, розділення та випікання хліба

Системи автоматичного керування тістоприготувальним комплексом і операціями приготування опари й тіста та його випічки складаються з наступних блоків: блоку фаззи - керування (БФК), адаптивної САК з пристроями керування (ПК) і фаззи-регулятором (фазі – ПД – алгоритм – керування), Ф-фаззифікатора, БПЛ – бази правил логічних, ОБ – об'єкта керування, БА – блока адаптації. Блок фаззи-керування складається із фаззифікатора (ФЗ), бази знань (БЗ) і дефаззифікатора (ДФЗ).

На вхід ФЗ основного каналу САК подаються сигнали помилки ε , при цьому $\varepsilon = u - x$ і її похідної $d\varepsilon/dt$ є функціями часу (тут і в подальшому аргумент t опущений). Диференціатор $d\varepsilon/dt$ є обов'язковим на вході фаззи-ПК, так як похідна в часі вхідної змінної, як правило, існує у так названих декларативних логічних правилах БЗ. Інтегратор (ІнТ) добавлено для введення інтегральної складової при проектуванні ПД-фаззи-алгоритмів. В нашій схемі ПД-фаззирегулятор встановлений паралельно основному каналу фаззи-САК,

У ФЗ вхідні змінні перетворюються у терм-множину, які зображені, як правило, у вигляді функцій приналежності (ФН). Зміна помилки ε з відображенням ФН μ_ε , її похідна $\varepsilon' = d\varepsilon/dt$ - відповідно ФН $\mu_{\varepsilon'}$ і т.п. ФЗ у блоці адаптації (БА) перетворює сигнали від сенсорів збурень – елементів вектору f в команду-зміни параметрів приготування опари (випікання хліба) з рекомендаціями одержаними від ЕС, СМРХО, СМЯ для ОПР. Вектор f повинен враховувати інші параметри ОБ (робочі характеристики обладнання що одержані від агентів 1, 2) та якості сировини (СМЯ). Вектор збурень f складається з декількох компонентів, визначених ЕС, СМРХО, СМЯ, серед них: $f1$ – співвідношення різних сортів борошна та його відхилення від еталонного значення записаного у вигляді правила «якщо ..., то ...»; $f2$ – характеристики води та їх відхилення від заданих параметрів, записаних у ЕС у вигляді правил «якщо ..., то ...»; $f3$ – оцінка параметрів швидкості змішування (із врахуванням властивості борошна) у тістомісильної машині; $f4$ – вихідні величини режимів роботи пекарної камери (температура та вологість). Таким чином, розроблена концепція управління виробництвом хліба що ґрунтується на використанні у якості показників ефективності процесу (див. ф. 1) непрямих, нечітко визначених чинників ε , u , x , $f1$ - $f4$ та інших. Ці показники дозволяють забезпечити формування сигналів завдання для локальних систем автоматичного керування. При виконанні обмежень збоку ЕС, СМРХО та СМЯ останні забезпечують задані динамічні характеристики об'єкту управління на базі розроблених адаптивних фаззи-систем керування параметрами опари, замісу, розділення та випікання хліба. Отже підхід до конструювання закону адаптації з врахуванням рекомендацій ЕС, СМРХО, СМЯ, ОПР дає змогу зменшити дисперсію коливань витрат енергоресурсів (We) на 12–15 %, збільшити продуктивність виробництва високоякісного хліба на 5–7 % та зменшити час переналагодження обладнання і технологічних режимів роботи ліній з виробництва k -сортів хліба.

Висновки

Розроблено інтелектуальну систему управління виробництвом різних сортів хліба, в якій аналіз збурень сировини, води та обладнання виконано за допомогою системи моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання хлібобулочного виробництва. Системи моніторингу робочих характеристик обладнання та якості води, сировини, опари, тіста виконано на основі агентських технологій, що дає можливість на базі нечітких регуляторів побудувати системи адаптивного керування тістоприготувальним комплексом та випіканням хліба.

Аналіз результатів функціонування алгоритму і структури адаптивної САК з моніторингом робочих характеристик обладнання (моніторингу якості продукції) дозволяє зробити висновок про те, що метод побудови адаптивних САК, САУ дозволяє синтезувати нечіткі регулятори для елементарних операцій технологічних процесів виробництва хліба з врахуванням нелінійності об'єкту керування.

Доведено, що відпрацювання еталонного завдання в умовах невизначеності зовнішніх і внутрішніх збурень, які не контролюються датчиками, може бути оцінено експертною системою формування законів керування технологічним процесом виробництва хліба. Врахування знань і навичок оперативного персоналу в експертній системі управління, з агентськими технологіями моніторингу робочих характеристик обладнання, якості сировини і води, дозволяє побудувати робастні інтелектуальні системи управління хлібозаводом з оптимізацією його параметрів продуктивності та мінімізацією питомих енергозатрат.

Література

1. Хроменков В.М. Технологическое оборудование хлебозаводов и макаронных фабрик / В.М. Хроменков. – СПб : ГЦОРД, 2014. – 496 с.
2. Соломенко М.М. Автоматические методы контроля некоторыми технологическими параметрами хлебопекарного производства / М.М. Соломенко. – М. : Машиностроение, 1972. – 200 с.
3. Скакун С.В. Реализация нейросетевой модели пользователей компьютерных систем на основе агентной технологии / С.В. Скакун, Н.Н. Куссуль, А.Г. Лобунец // проблемы управления и информатики. – 2005. – № 2. – С. 103-102.
4. Лисовенко А.Т. Технологическое оборудование хлебозаводов и пути его совершенствования / А.Т. Лисовенко. – К. :Техника, 1982. – 208 с.
5. Васьків М.В. Моніторинг та керування якості продукції агрегованих технологічних комплексів харчових виробництв / В.Г. Васьків, В.В. Іващук // Складні системи і процеси. – 2010. – № 1. – С. 77–83.

6. Мирончук В.Г. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості / В.Г. Мирончук, І.С. Гулий, М.М. Пушанко, Л.О. Орлов, А.І. Українець та ін. – Вінниця : «Нова книга», 2007. – 640 с.
7. Стивенсон Вильям Дж. Управление производством / Вильям Дж. Стивенсон ; пер. с англ. – М. : ООО «Издательство Лаборатория Базовых Знаний», ЗАО «Издательство БИНОМ», 1998. – 928 с.
8. Дафт Р. Современные системы управления / Ричард Дафт, Роберт Бишоп. – М. : Лаборатория базовых знаний. 2004. – 833 с.
9. Шаруда С.С. Інтелектуальна система сценарного управління хлібопекарським виробництвом / С.С. Шаруда, В.Д. Кишенько // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – № 5/3(47). – С. 66–70.
10. Tolfo F. An introduction to modular batch automation / Tolfo F. // Control Engineering. – 1989. 36-N9, p. 216–218.
11. Білик О.А. Удосконалення технологій хлібобулочних виробів з борошна зі зниженими хлібопекарськими властивостями : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01. / О.А. Білик / Національний ун-т харчових технологій. – К., 2006. – 212 с.
12. Бондар І.П. Розроблення технологій хліба з борошняних сумішей підвищеної харчової цінності : дис. ... канд. наук 05.18.01. / І.П. Бондар / Національний ун-т харчових технологій – К., 2003 – 232 с.
13. Гавриш Т.В. Удосконалення технологій хліба зі слабого пшеничного борошна : дис. ... канд. техн. наук 05.18.01. / Т.В. Гавриш / Харківський держ. ун-т харчування та торгівлі. – Х., 2005 – 165 с.
14. ДСТУ 4588:2006. Вироби хлібобулочні для спеціального дієтичного споживання. Загальні технічні умови / Офіц. Вид. – К. : Держспоживстандарт України, 2006-III. – 23 с.
15. ДСТУ 7044:2009. Вироби хлібобулочні. Укладання, зберігання і транспортування – Офіц. вид. – К. : Держспоживстандарт України, 2009-III. – 5 с.
16. Agent technology: Enabling next generation computing / Luck M., McBurney P., Preist C. – N.Y. : Agent Link. 2003. – 94 p.
17. Wooldridge M. An introduction to multiagent systems / M. Wooldridge. – Chichester, England: John Wiley Sons, 2002. – 366 p.
18. Хорольський В.П. Інтегроване інтелектуальне управління технологічними процесами в економічних системах корпоративних підприємств гірничо-металургійного комплексу : монографія / В.П. Хорольський. – Дніпропетровськ : «Січ», 2008. – 448 с.

Рецензія/Peer review : 3.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 12.12.2016 р.

Рецензент: Рецензент: д.т.н., проф. Жуков Г.О.

УДК 867.11.16.004

В.О. ПРИВАЛА

Хмельницький національний університет

А.А. МИЧКО

Східноукраїнський національний університет ім. В.Далі, Северодонецьк

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ НВЧ-ПОЛЯ ДЛЯ СТРУКТУРНОЇ МОДИФІКАЦІЇ ГОТОВИХ ПОЛІМЕРНИХ ПЛІВКОВОК РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

В статті проаналізовано недоліки існуючих методів отримання пористих полімерних плівок. Запропоновано отримувати пори у вже готових плівках за допомогою електромагнітного поля надвисокої частоти та вакуумного розрідження.

Ключові слова: полімерні плівки, НВЧ- поле, пори, вакуумне розрідження, поєднання процесів.

V.O. PRIVALA

Khmelnytsky National University

A.A. MYCHKO

Eastern Volodymyr Dahl National University, Severodonetsk

THEORETICAL EXPLANATION MICROWAVE USE FOR STRUCTURAL MODIFICATION FIELD FINISHED FILM POLYMER MATERIAL DIFFERENT PURPOSE

Shortcomings of existing methods for porous polymer films indicate the need for new, more sophisticated methods that involve the use of clean and energy saving technologies. In our opinion it is possible in the case of ready-made films of polyamide, polyethylene and other groups that are produced by domestic industry and are widely used as packaging materials for food, industrial and medical products, construction materials for greenhouses and hothouses, and more. In connection with this proposed new method of pore formation in thermoplastic films, which is the synthesis of natural processes as heating using microwave field, followed by evacuation.

Keywords: polymer films microwave field seasons, vacuum depression, a combination of processes.

Вступ

У зв'язку із постійним зростанням попиту на пористі полімерні плівкові матеріали та через необхідність заміни імпортованих товарів на аналогічні товари вітчизняного виробництва, ведеться постійна робота над пошуком інноваційних технологій їх отримання в умовах промислового виробництва. Пористі полімерні матеріали малої та надмалої товщини у всьому світі широко використовують для виготовлення різноманітних мембран, фільтраційних систем медичного і промислового призначення, створення захисних пакетів та матеріалів, упаковки з певними водо- і вітрозахисними властивостями [1]. Так, наприклад, в Німеччині роботи даного напрямку зосереджені в Дрезденському текстильному університеті, в Оснабрюкській вищій технічній школі, а також у приватних фірмах: «Europlast», «Kale» та інших. Наукові дослідження проводяться в напрямку синтезу полімерних матеріалів із комбінованих полімерів різних структур: поліамід, поліетерблокамід, поліамід + поліетилен, поліамід на основі модифікованих каучуків тощо. Наукові розробки в галузі створення таких полімерних матеріалів в Україні переважно зосереджені в Київському національному університеті технологій і дизайну (КНУТД) та в науково-дослідному інституті хімічних волокон (м. Чернігів). Розробки чернігівських вчених спрямовані на створення оболонкових матеріалів з поліамідних (ПА) і поліетиленових (ПЕ) плівок для використання в харчовій промисловості. В КНУТД найбільших досягнень досягли у створенні фільтрувальних матеріалів на поліамідній основі для тонкої очистки рідин.

На сьогодні існують такі основні методи по виготовленню пористих полімерних матеріалів:

а) введення в полімер спеціальних речовин – порофорів, які при певних умовах розпадаються з утворенням газоподібних продуктів, що викликає “розбухання” полімеру з наступною фіксацією отриманої пористої структури;

б) введення в мономер суспензій органічних або неорганічних твердих речовин певних розмірів з послідовним вилученням їх з отриманого полімеру;

в) проведення синтезу або формування виробу у присутності розчинника з наступним вилученням його, після чого в полімері залишаються порожнини досить великих розмірів, які до цього були наповнені розчинником; в процесі вилучення розчинника шляхом сушіння виникають деформації зсідання полімеру по всій його площі, що дозволяє зменшити первинні пустоти до необхідних, тобто, оптимальних розмірів пор;

г) отримання пористої структури інклудуванням, тобто послідовна заміна “якісних” розчинників “неякісними”;

д) отримання пористої структури шляхом ліофільного сушіння. Цей метод полягає у заморожуванні розчину полімеру при температурі рідкого азоту та вакуумуванні його при цій же температурі, внаслідок чого розчинник сублимується, а заморожена структура полімеру порівняно мало змінюється [1].

Постановка задачі

Наведені методи недосконалі через те, що їм притаманні наступні недоліки:

- багатостадійний та енерговитратний технологічний процес пороутворення, оскільки це відбувається безпосередньо на етапі виготовлення полімерних плівок, що потребує створення відповідного промислового устаткування, значних витрат енергоресурсів та часу, що впливає на його кінцеву собівартість;

- використання хімічних речовин для пороутворення приводить до того, що частина з них все ж таки залишається у товщині полімеру навіть після ретельного їх вимивання, що звужує практичне використання такої пористої плівки за призначенням, і може завдавати шкоди навколишньому середовищу.

Перелічені недоліки вказують на необхідність розробки нових, більш досконалих методів, а саме тих, які передбачають використання екологічно чистих та енерго- і ресурсозберігаючих технологій. На наш погляд це стає можливим у разі використання вже готових плівок поліамідної, поліетиленової та інших груп, які виробляються вітчизняною промисловістю, і які знайшли широке застосування як пакувальні матеріали для харчових, промислових і медичних товарів, будівельні матеріали для парників і теплиць та інше. У зв'язку з цим пропонується новий метод пороутворення в термопластичних плівках, який полягає у синтезі таких фізичних процесів як нагрів і вакуумування.

Викладення основного матеріалу

В останній час інтенсивно використовуються наукові дослідження, які передбачають залучення електрофізичних методів з метою скорочення тривалості теплової обробки будь-яких матеріалів. Одним з найефективніших і перспективних шляхів рішення проблем цього напрямку є використання енергії електромагнітного поля надвисокочастотного (НВЧ) діапазону. Нагрівання у такому полі дозволяє значно скоротити тривалість термічної обробки дослідних матеріалів, скоротити площу виробничих цехів, підвищити економічні показники роботи підприємств. Основна перевага об'ємного прогріву у НВЧ-полі перед іншими електромагнітними полями полягає у високій швидкості виконання такого нагріву. При взаємодії змінного електромагнітного поля з об'єктами, які являють собою діелектрики, через наявність діелектричних втрат гріються, тобто енергія поля перетворюється у тепло. Ефективність такого перетворення пропорційна значенню коефіцієнта діелектричних втрат, або коефіцієнту поглинання енергії, частоті поля і квадрату напруженості електричного поля у дослідному об'єкті. Оскільки напруженість поля обмежена електричною міцністю діелектрика, то для прискорення нагріву підвищують частоту електромагнітних коливань. Для термічної обробки виробів використовують електромагнітні поля дециметрового діапазону – 433, 915 і 2450 МГц, що дозволяє отримувати високу швидкість нагріву необхідних розмірів матеріалів [2].

Процес пороутворення в готових плівках необхідно виконувати тоді, коли полімер знаходиться у в'язкотекучому стані, після чого, завдяки зниженню температури, полімер має можливість повернутися до свого первинного склоподібного стану. На підставі цього пропонується така методика пороутворення, яка передбачає виконання попереднього нагріву плівки у НВЧ-полі при частоті електромагнітних коливань 2450 МГц до термопластичного стану полімеру з наступним миттєвим вакуумуванням, що приводить до утворення наскрізних отворів – пор.

Складність фізичних процесів, які відбуваються у сучасних НВЧ-приладах, часто не дозволяє описувати їх аналітично, через що у багатьох випадках необхідно використовувати відповідні чисельні методи розрахунків. В останній час одним з найбільш ефективних методів рішення хвильових і резонаторних задач став метод кінцевих елементів (МКЕ), який має такі особливості:

- а) метод можна застосовувати до структур з будь-якою формою границі;
- б) форма, розміри і число подібностей що розглядаються можуть бути змінними, що дає змогу легко переходити від однієї області визначень до іншої у межах одного алгоритму;
- в) метод надає можливість створення автоматизованої програми для рішення задач на ЕОМ;
- г) МКЕ не накладає обмежень на властивості суміжних осередків в області визначення функції, що розглядається [3].

Ці характеристики є найкращими показниками універсальності методу, який можна застосувати для розрахунку і проектування НВЧ-приладів довільних конфігурацій.

Діелектрична проникність полімерів може бути записана наступним чином [4]:

$$\varepsilon' = n^2 D + \Delta\varepsilon_{\text{рез}} + \Delta\varepsilon_{\text{дин}} \quad (1)$$

де n_D – показник переломлення;

$\Delta\varepsilon_{\text{рез}}$ і $\Delta\varepsilon_{\text{дин}}$ – внески в діелектричну проникність від резонансної і дипольно орієнтованої поляризації.

В роботі [5] показано, що в полярних полімерах значення ε' при НВЧ звичайно перевищує $n^2 D$, а значення відрізняються від нуля. Різниця досягає значень 0,6-0,7, а для неполярних поліетилену і полістиролу ця величина лежить у межах допустимої похибки вимірювань. Важливою особливістю діелектричних властивостей полімерів у діапазоні НВЧ є наявність "фону" втрат, тобто поглинання, що слабо залежить від частоти і температури. На величину ε' полімерів впливає також наявність полярних низькомолекулярних домішок. Дослідження діелектричних втрат і проникності в діапазоні міліметрових і

субміліметрових хвиль показало, що при частотах 10^{11} Гц і вище має місце зростання $tg\delta$. Діелектричні втрати на НВЧ зростають з температурою. В літературі наведені дані про поведінку у НВЧ-полі переважно тих полімерів, які використовуються в НВЧ-техніці як конструктивні елементи хвильоводних трактів або ліній передачі енергії. До таких матеріалів відносяться: поліетилен, полістирол та цілий ряд їхніх модифікацій. У поліетилені значення $tg\delta$ діелектричних втрат в основному визначається киснем, який є хімічно зв'язаний з основним ланцюгом полімеру, або залишками каталізаторів, у випадку поліетилену низького тиску. У добре очищеному поліетилені значення $tg\delta \approx 10^{-4}$ може бути обумовлено наявністю невеликого дипольного моменту CN_3 -груп. У випадку поліетилену з $tg\delta < 10^{-4}$ на значення цієї величини можуть впливати різного роду порушення електричної симетрії в макромолекулі, наприклад, наявність подвійних зв'язків [6].

При діелектричному нагріванні матеріалів поряд зі слабкими хімічними взаємодіями істотну роль грає реактивна взаємодія полярних молекул з навколишнім середовищем. У цих молекулах спостерігається зсув електронів, виникають невеликі електричні моменти. Поляризація навколишнього середовища - реакція на присутність у ній даної полярної молекули. Ця реакція (поляризація) призводить до виникнення реактивного поля $\vec{R}$, яке є рівноспрямованим з електричним моментом диполя даної молекули. Реактивне поле поляризує ту полярну молекулу, завдяки якій воно виникло. Отже діелектричні втрати в поліетилені обумовлені двома причинами: дипольною поляризацією та електричною провідністю. Однак їхнє значення в неполярних полімерів набагато нижче чим у полярних, чому сприяє ретельне очищення мономерів, гарне відмивання полімерів від каталізаторів, стабілізація матеріалів від окислювання стабілізаторами з низьким $tg\delta$. Ця особливість неполярних полімерів і зокрема поліетилену, обумовила їхнє застосування як високочастотних діелектриків.

Для визначення впливу НВЧ-поля на полімерні плівки розроблена експериментальна установка, до складу якої увійшла робоча камера для СВЧ-нагріву, набір датчиків для визначення температури в середині робочої камери, таймер для відліку часу [7].

Експериментально встановлено, що НВЧ-поле не впливає на структуру і фізико-механічні властивостей плівкових матеріалів, на що вказують результати досліджень (таблиця 1).

Таблиця 1

Розривальне навантаження поліетиленової плівки до і після обробки її у НВЧ-полі

Час перебування плівки під дією НВЧ, с	Розривальне навантаження дослідних зразків, кН для плівки товщиною:		
	60 мкм	80 мкм	100 мкм
0	3,23	3,50	4,10
60	3,20	3,52	4,20
120	3,20	3,50	4,10
180	3,23	3,60	4,20
240	3,20	3,58	4,20
300	3,22	3,50	4,30

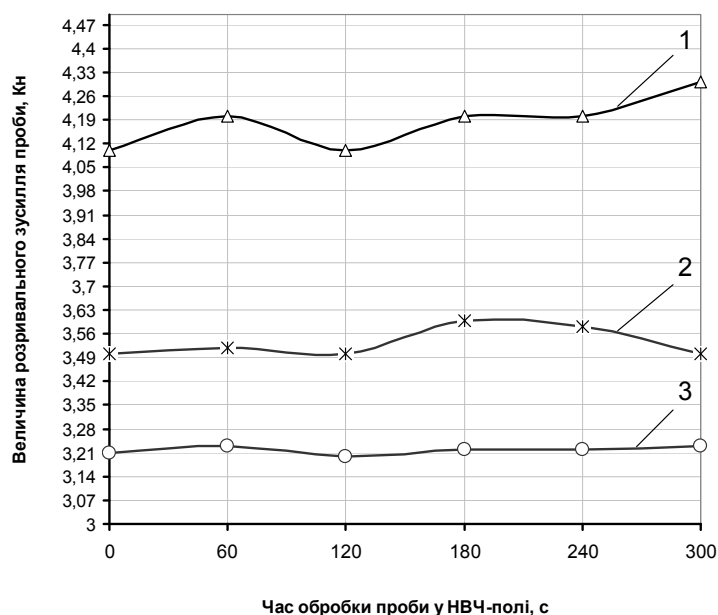


Рис. 1. Графік залежності зміни величини розривального навантаження проби полімерної плівки від тривалості її обробки у НВЧ-полі: 1 – товщина проби 60 мкм; 2 – товщина проби 80 мкм; 3 – товщина проби 100 мкм

Аналіз отриманих результатів (рис. 1) вказує на повну відсутність впливу НВЧ-поля на структуру дослідного матеріалу, оскільки значення розривного навантаження для зразків в межах однієї й тієї ж товщини знаходяться в межах похибки (5%) вимірювання, що і вказує на відсутність зміни внутрішньої морфології полімеру. Крім того встановлено, що температура в робочій камері під час НВЧ-нагріву практично не змінилась, а зразки полімерних плівок не нагрілися під впливом НВЧ-випромінювання.

Висновки

Експериментально доведено, що НВЧ-поле не впливає на структуру полімерних плівок, а також не спричиняє їх нагрівання. Отже, для нагрівання готових полімерних плівок до температури, при якій вони стають термопластичними, в робочу НВЧ-камеру необхідно додати елемент, який би перетворював електромагнітне поле НВЧ-частоти у теплове. При цьому зазначений елемент повинен мати здатність швидко охолоджуватися після вимкнення НВЧ. Вказаним вимогам, на наш погляд, відповідає графіт, з якого шляхом пресування можна виготовляти деталі (складові) робочої камери необхідної форми і товщини.

Література

1. Тагер А. А. Физикохимия полимеров / А. А. Тагер. – 3-е, доработанное. – М. : Химия, 1978. – 544 с.
2. Рогов И. А. Сверхвысокочастотный и инфракрасный нагрев пищевых продуктов / И. А. Рогов, С. В. Некрутман. – М. : Пищевая промышленность, 1976. – 212 с.
3. Синявский Г. П. Методы расчёта электромагнитных полей и критических частот в волноводах сложных сечений / Г. П. Синявский // Изв. Сев.-Кавказ. Центра Высшей школы. – 1978. – № 2. – С. 25–40.
4. Одинцов А.И. Перспективы использования СВЧ-энергии в пищевой промышленности и общественном питании / Одинцов А.И., Пиденко А.П. – М. : Известия вузов. – 1967. – № 1. – С. 27–31.
5. Сажит Б. И. Электрические свойства полимеров / Б. И. Сажит. – Л. : Химия, 1986. – 224 с.
6. Немков В. С. Математическое моделирование на ЭВМ устройств высокочастотного нагрева / В. С. Немков, Б. С. Полеводов. – Л. : Машиностроение, 1980. – 64 с.
7. Привала В. О. Розробка методики надання необхідної пористості сучасним плівковим матеріалам / В. О. Привала, А. А. Мичко // Вісник ХНУ. – 2009. – № 3. – С. 109–111.

Рецензія/Peer review : 11.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 12.12.2016 р.

Рецензент: к.т.н., проф.. Куцевський М.О.

ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЗАКЛАДАХ ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА

У статті проведено аналіз переваг та особливостей застосування альтернативних джерел енергії у закладах готельно-ресторанного господарства. Охарактеризовано перспективи розвитку відновлювальних джерел енергії в Україні до 2020 року. Досліджено особливості використання основних видів відновлювальних джерел енергії в закладах гостинності. Запропоновано новий спосіб узгодження енергетичних установок відновлюваної енергетики зі споживачем та розроблено відповідну схему.

Ключові слова: альтернативні джерела енергії, ефективність, відновлювальні джерела енергії, енергозбереження, сонячна енергія, сонячний колектор, вітрова енергія, готельно-ресторанне господарство.

D.M. YAKYMCHUK, R.O. BASALAEV
Kherson State University

USING OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES IN HOTEL-RESTAURANT BUSINESS FACILITIES

The aim of the research is investigation of efficiency use of alternative energy sources in hotel-restaurant business facilities. Advantages and application features of alternative energy sources in hotel-restaurant business facilities are investigated in the article. Analyzed that the need in energy resources the state provides only 25%, importing 75% natural gas and 85% oil and petroleum products. Was established that thorough scientific developments of energy efficiency in all sectors of industry are missing. Characterized prospects of renewable energy sources in Ukraine until 2020. Features of use main types of renewable energy sources in the hospitality establishments are investigated. Using solar collectors makes it possible to reduce the cost of heating water in hospitality facilities by 60% and rooms heating by 30% per year. The features of harmonization renewable energy power plants with the consumer are analyzed. Offered a new method of concordance power systems of renewable energetic with a consumer and developed appropriate scheme that consist of such elements: renewable energy sources, energy converter; the consumer, storage device, regulator and devices of automatics. Such system combines the advantages of energy storage schemes and schemes with adjustment load.

Consequently, in the article investigated the using of alternative energy sources in hotel-restaurant business facilities which improves their energy efficiency.

Keywords: alternative energy sources, efficiency, renewable energy sources, energy efficiency, solar energy, solar collector, wind energy, hotel-restaurant business.

Постановка проблеми

З розвитком суспільства зростає потреба в енергетичних ресурсах, однак обсяги традиційних джерел енергії є обмежені і, у більшості випадків, їх видобування та використання негативно впливає на екологічний стан довкілля.

Сьогодні людство переживає енергетичну кризу: потреба у електричній енергії значно перевищує фактичне її виготовлення [5]. Подальший розвиток традиційної енергетики пов'язаний із рядом проблем – небезпека під час експлуатації, забруднення навколишнього середовища, виснаження існуючих запасів [2].

Одним з найперспективніших напрямків реалізації політики енергозбереження у закладах готельно-ресторанного господарства може і повинно стати використання альтернативних і відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), які сприяють підвищенню енергетичної незалежності та зниженню витрат традиційних паливно-енергетичних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останніми роками публікується значна кількість наукових і практичних робіт, в яких висвітлюються питання ефективного використання енергії та енергозбереження і, в тому числі, із запровадженням ВДЕ. Практично усі дослідники і практики підкреслюють важливу роль ВДЕ для розвитку людства з точки зору енергетичної та екологічної безпеки.

Проблему і перспективу використання відновлюваних джерел енергії вивчали такі вчені, як Д. Твайдел, В. Смаль, Л. Гофман, А. Зіденберг, Г. Шеер, М. Лесечко, М. Ковалко, М. Рапцун, М. Коваленко, О. Єрохін. Вони сформулювали основні принципи використання ВДЕ. Однак, можливості їх застосування в закладах гостинності є недостатньо вивченими.

Постановка завдання

Метою статті є дослідження ефективності використання альтернативних джерел енергії у закладах готельно-ресторанного господарства.

Виклад основного матеріалу дослідження

Перехід на альтернативні джерела енергії має особливе значення для готельно-ресторанного господарства України. Потреби в енергетичних ресурсах держава забезпечує лише на 25%, імпортує 75% природного газу та 85% нафти і нафтопродуктів [2]. Натомість наша країна розташована в помірному кліматичному поясі і щодоби отримує 200 Вт/м² сонячної енергії, яка може бути ефективно використана [6].

Але на сьогодні в Україні недостатньо використовується стратегія розвитку відновлювальної енергії [2], відсутні ґрунтовні наукові розробки з енергозбереження в більшості галузях промисловості.

Згідно прогнозів вчених [2] загальний обсяг видобутку електроенергії з альтернативних джерел енергії до 2020 року повинен зрости в 2 рази у порівнянні з 2016 роком. При цьому рівень приросту

становитиме в середньому 21,2% протягом кожного наступного року (табл. 1).

Таблиця 1

**Оцінка перспектив розвитку альтернативних джерел енергії до 2020 р.
та її частка у ВДЕ на 2015-2020 рр. (тис.т н.е.)**

Види енергії	Рік					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Альтернативні джерела енергії						
- сонячна	210	250	300	370	470	600
- біомаса	1820	2050	2370	2800	3320	4000
Відновлювальна енергія від теплових насосів:	340	480	620	720	960	1100
- в т.ч. енергія вітру	227	320	413	507	600	733
- геотермальна	76	107	138	169	200	244
- гідротермальна	38	53	69	84	100	122
Всього:	2417	2840	3365	4025	4810	5850
- з якої центральне опалення	555	730	900	1150	1500	2000

Варто зазначити, що до 2020 року повинен значно зрости рівень видобутку основних видів ВДЕ, які використовуються в закладах гостинності (рис. 1).

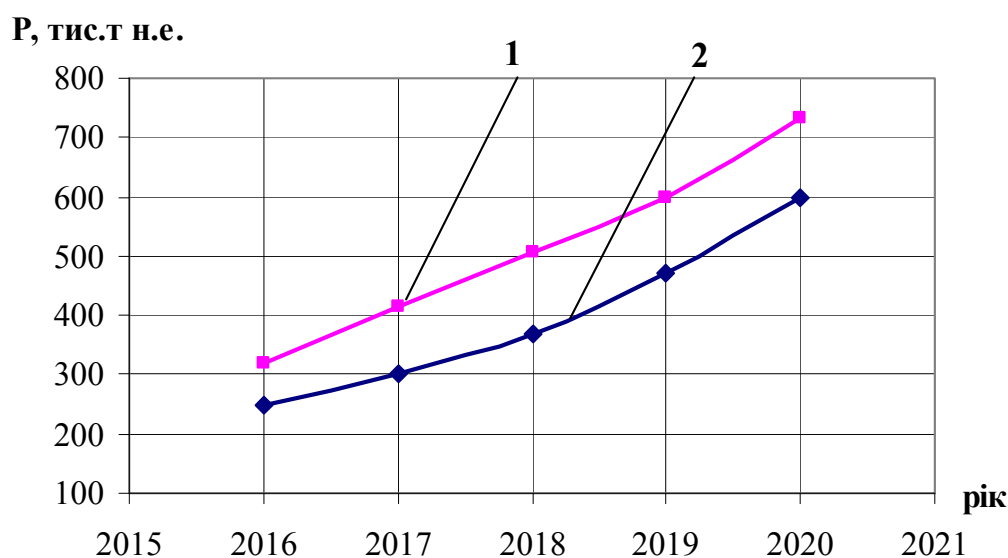


Рис. 1. Графічна залежність перспективної зміни видобутку енергії P з альтернативних джерел:
1 – енергія вітру; 2 – сонячна енергія

З екологічної точки зору найкраще активно використовувати енергію сонячного випромінювання. Сонячна енергія може бути використана в активних системах обігріву та в пасивних системах будинків [8].

Перехід на сонячну енергетику забезпечить не лише значну економію на енергоносіях, а й створить новий “екологічний” імідж закладів готельно-ресторанного господарства.

Для перетворення сонячної енергії в електричну використовують спеціальний пристрій – геліоустановку. Вона складається з кристалів кремнію і дозволяє перетворювати в корисну енергію близько 10% сонячного випромінювання. Воно призводить до вивільнення електронів і створює різницю потенціалів, таким чином струм може протікати між електродами, приєднаними до двох кристалів [1].

Існує два основних способи перетворення сонячної енергії: фототермічний та фотоелектричний [1]. Виходячи з цього геліоустановки поділяють на сонячні колектори та сонячні батареї.

Фототермічний спосіб (колектори) призначений для забезпечення гарячого водопостачання або опалення приміщень. Він передбачає застосування нагрітого до високої температури теплоносія. При цьому відбувається пряме перетворення сонячного випромінювання в електричний струм. Враховуючи витрати закладів гостинності на опалення, нагрів води, а також на електричне забезпечення усіх приладів та установок, доцільно використовувати сонячні колектори та батареї одночасно. Сонячний колектор, як правило, складається з металевих пластин чорного кольору, встановлених на даху будинку. Вони вкриті спеціальним загартованим склом, яке захищає внутрішні деталі від впливу погодних чинників. Колір і положення колектора передбачають максимальне поглинання й накопичення сонячної енергії.

Принцип дії установки полягає у наступному [1]: промені проникають в установку через скло і падають на абсорбуючу пластину, яка поглинає сонячну енергію. Накопичена енергія передається розташованим під пластиною мідним трубкам і нагріває теплоносії, що знаходиться в них. Колектор накопичує енергію під скляною панеллю, тому пластина вкрита спеціальним структурованим покриттям з високим коефіцієнтом поглинання тепла та низьким коефіцієнтом емісії вже поглиненого. Сонячна радіація розподіляється рівномірно

по поверхні, при цьому, чим більша площа колектора, тим більше енергії буде поглинено.

Теплоносієм в сонячних колекторах може бути вода або повітря, відповідно до цього вони поділяються на повітряні та рідинні. Рідинні сонячні колектори доцільно встановлювати на дахах засобів розміщення сезонного функціонування, або на дахах малих готелів, що працюють цілий рік. При цьому необхідно обов'язково проводити теплоізоляцію труб взимку для забезпечення надійної роботи системи теплопостачання.

Оскільки теплопровідність повітря на порядок нижча за теплопровідність води, повітряні сонячні колектори [6] вимагають більших площ, тому їх проектують для великих та середніх готелів. Вони забезпечують безперебійне функціонування системи цілий рік.

Використання сонячних колекторів дає можливість зменшити витрати на нагрівання води у закладах гостинності на 60% та на опалення приміщень на 30% в рік. Установка сонячної системи може бути запланована під час будівництва закладу гостинності або додана до існуючої системи теплопостачання.

Поряд з енергією сонячного випромінювання значного поширення отримала вітроенергетика [3]. Як відомо, видобуток електроенергії за допомогою вітру має ряд переваг:

- екологічно чисте виробництво без шкідливих відходів;
- економія дефіциту дорогого палива (традиційного і для атомних станцій);
- доступність;
- практична невичерпність.

Згідно з існуючими даними [4] максимальна потужність вітряних енергетичних станцій становить 300 МВт. Найбільш поширені установки, що експлуатуються здебільшого невеликі за розмірами із номінальною встановленою потужністю 110 кВт. Проте, габарити таких установок не дозволяють вільно встановлювати їх в закладах гостинності.

Територія України знаходиться у вигідному положенні для використання вітрових ресурсів. Швидкість вітру у регіонах країни має різне значення і є основним показником для визначення місця розташування вітрових парків та окремих вітрових електроустановок.

За прогнозами аналітиків, у найближчі роки вітроенергетика в Україні буде розвиватися швидше, в порівнянні з іншими видами відновлювальної енергетики, а загальна потужність таких установок перевищить потужність сонячних станцій в 10 разів [4]. Це зумовлено тим, що в порівнянні з фотоелектричними модулями, при однаковій потужності, вітрові установки займають меншу площу і коштують набагато дешевше.

Проте, на сьогоднішній день не до кінця вирішені недоліки, що не дозволяють використовувати вітрові електричні установки (ВЕУ) в закладах готельного господарства. Усі ВЕУ досить шумні та створюють перешкоди під час прийому сигналів теле- і радіопередавальних станцій, Wi-Fi зв'язку. Як наслідок, виникають проблеми розташування ВЕУ на певному віддаленні від будинків, аеропортів, доріг та інших об'єктів. Особливо гостро стоїть ця проблема в межах міста. Тому, використання ВЕУ для забезпечення енергопостачання закладів готельно-ресторанного господарства є поки що недоцільним.

Підвищення енергетичної ефективності установок, що використовують ВДЕ, є досить актуальною проблемою, що вирішується різними шляхами, які передбачають як покращення техніко-економічних характеристик енергетичного обладнання, так і оптимізацію його енергетичних параметрів і режимів з урахуванням навантаження, що змінюється.

Зазначені обставини викликають необхідність узгодження енергетичних установок відновлюваної енергетики зі споживачем. Для цього повинні вирішуватися наступні завдання:

- забезпечення максимально ефективного використання ресурсів ВДЕ;
- узгодження виробленої та спожитої електроенергії, що у більшості випадків, вимагає включення в енергосистему спеціальних накопичувачів;
- керування режимами роботи перетворювачів енергії, регулювання параметрів установок її генерування.

Для вирішення зазначених завдань на практиці використовуються різні схеми енергетичних установок [7], проте вони не досконалі.

Застосування схеми зі скиданням надлишків енергії характеризується використанням лише частини накопиченої енергоносія. При цьому весь її обсяг не використовується, що погіршує її економічні характеристики та значно зменшує ефективність.

Схеми з накопичувачами енергії характеризуються більшою ефективністю та економічністю. Надлишки енергії можуть акумулюватися і додатково використовуватись в періоди її нестачі. В якості накопичувачів енергії можуть використовуватись різні акумулюючі системи та акумуляторні батареї. Однак, така конструктивна схема не забезпечує регулювання рівня енергії, що погіршує експлуатаційні параметри системи в цілому.

Також, існують схеми з регулюванням навантаження, які забезпечують практично повне використання енергії за рахунок керування поточною потужністю навантаження. Але, вони не забезпечують достатнього рівня накопичення енергії.

Таким чином, розглянуті схеми є недосконалими. Тому запропоновано систему з використанням необхідної кількості накопичувачів енергії з одночасним регулюванням навантаження, а також застосування пристроїв автоматики (рис. 2).

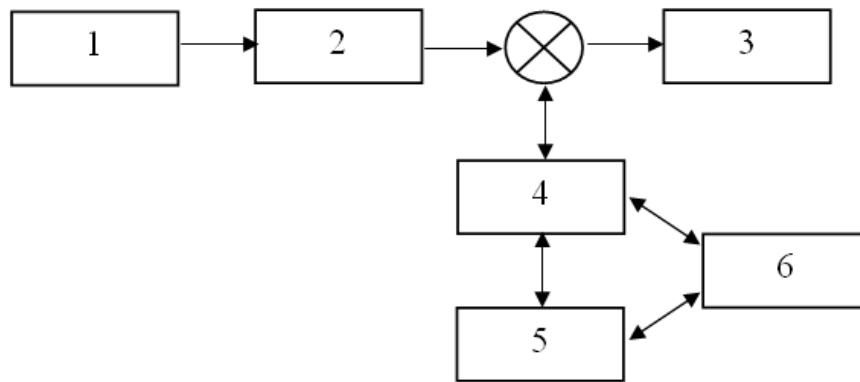


Рис. 2. Схема узгодження відновлюваних джерел енергії зі споживачами:
1 – ВДЕ; 2 – перетворювач енергії; 3 – споживач; 4 – накопичувач; 5 – регулятор; 6 – пристрої автоматики

Така система поєднує переваги схеми з накопичувачами енергії та схеми з регулюванням навантаження, а також характеризується рядом переваг: використанням всього обсягу накопиченої енергії, достатній рівень накопичення електроенергії, повне узгодження відновлюваних джерел енергії зі споживачами, автоматичне регулювання та контроль величини та обсягів енергії.

Висновки

Проаналізовано переваги та недоліки існуючих відновлюваних джерел енергії, які використовуються в закладах готельно-ресторанного господарства. Охарактеризовано перспективи розвитку ВДЕ в Україні до 2020 року. Досліджено особливості використання основних видів ВДЕ в закладах гостинності. Здійснено аналіз особливостей узгодження енергетичних установок відновлюваної енергетики зі споживачем. Запропоновано новий спосіб узгодження відновлюваних джерел енергії зі споживачами та розроблено відповідну схему.

Література

1. Бутузов В.А. Автоматизация солнечных тепловых установок / Бутузов В.А. [и др.] // Альтернативная энергетика и экология. – 2009. – № 12. – С. 15–18.
2. Гелетука Г. Національний план з відновлюваної енергетики / Г. Гелетука, О. Кармазін, І. Кирильчук та ін. – Київ, 2013. – 116 с.
3. Жуков М. Майбутнє за альтернативними енергоносіями / М. Жуков // Энергосбережение. – 2010. – № 3. – С. 26–27.
4. Зеркалов Д.В. Энергосбережения в Україні [Електронний ресурс] : монографія / Зеркалов Д.В. – К. : Основа, 2012. – 582 с.
5. Ковалко М.П. Електрозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк. – Київ : УЕЗ, 2005. – 506 с.
6. Лабейш В.Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : [учебное пособие] / Лабейш В.Г. – СПб : СЗТУ, 2003. – 79 с.
7. Матвієнко М.Т. Перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні / М.Т. Матвієнко // ЕКОінформ. – 2011. – № 6. – С. 11–12.
8. Пабат А. Неисчерпаемые ресурсы. Перспективы использования возобновляемых источников энергии в Украине / А. Пабат // Деньги и технологии. Украинский промышленный журнал. – 2004. – № 2. – С. 22–25.

Рецензія/Peer review : 29.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 12.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор Чепелюк О.В.

МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ НОМІНАЛЬНОГО КОНТАКТНОГО ТИСКУ ТА ТРИВАЛОСТІ НАТІКАННЯ ГАЗУ В ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВИХ УЩІЛЬНЕННЯХ

На основі теорії стохастичних процесів розроблені методи розрахунку основних характеристик контакту спряжених поверхонь циліндро-поршневих ущільнень. Результатом є створення інженерних методів розрахунку номінального контактного тиску та тривалості натікання газу в циліндро-поршневих ущільненнях, що працюють без змащення.

Ключові слова: контакт; номінальний контактний тиск; тривалість натікання газу; циліндро-поршнєві ущільнення; профілограма.

O.G. TYMOSHCHUK

Khmelnytskyi National University

CALCULATION METHOD NOMINAL CONTACT PRESSURE AND DURATION OF SINTERS IN GAS CYLINDER-PISTON SEAL

Based on the theory of stochastic processes developed methods of calculating the basic characteristics of conjugate contact surfaces of cylinder-piston seals. The result is the creation of engineering methods for calculating the nominal contact pressure and duration sinters gas in the cylinder-piston seals that operate without lubrication.

Key words: contact; nominal contact pressure; duration sinters gas; cylinder-piston seal; profilohrama.

Вступ

На стадії інженерного проектування необхідно вміти оцінити натікання газового середовища в циліндро-поршневих ущільненнях. Методи розрахунку герметичності базуються на поєднанні фізичних законів, що описують процес натікання робочого середовища з закономірностями, що визначають характеристики контакту шорстких поверхонь, такі як міжконтактний об'єм, фактична площа контакту, середній зазор. Втрати робочого середовища залежать від кубу середнього зазору, тому похибка в 25% у визначенні цієї величини призводить до похибки в 95% при розрахунку натікань. Таким чином, точність розрахунку натікань великою мірою залежить від точності визначення характеристик контакту.

Існуючі методи розрахунку герметичності використовують формули визначення характеристик контакту за способом опорних кривих. Цей спосіб має низьку точність внаслідок того, що він не бере до уваги, що профілограма дає спотворене уявлення про поверхню, оскільки проходить не через вершини виступів, а схилами нерівностей профілю досліджуваної поверхні. Значення величини згладжування та максимальної висоти нерівностей, необхідні для визначення характеристик контакту, визначаються за способом опорних кривих з дуже низькою точністю; для точного визначення цих величин необхідно, щоб профілограма пройшла одночасно через найвищу вершину поверхні та через саму глибоку впадину, а ймовірність цього практично рівна нулю. Значно точніше характеристики контакту і величини натікання робочого середовища можна визначити за допомогою теорії стохастичних процесів.

Постановка проблеми у загальному вигляді

Розглянемо профілограму, записану в напрямку θ на шорсткій поверхні $z=z(x,y)$. Початок координат, а також осі Ox , Oy знаходяться на середній площині поверхні, висоти точок поверхні відмірюються від середньої площини. В силу кінематики руху елементів спряжених поверхонь, шорсткі поверхні циліндро-поршневих ущільнень можна розглядати як поверхні з сильною анізотропією, тобто їх можна характеризувати на підставі профілограм, записаної в поперечному напрямку. Оскільки задача про контактування двох шорстких поверхонь може бути зведена [1, 2] до задачі про контактування гладкої площини з еквівалентною шорсткою поверхнею, то саме цією розрахунковою схемою і будемо в подальшому користуватися. Підставою для використання такої розрахункової схеми є і те, що в беззмасувальних поршневих ущільненнях переважним чином використовуються металополімерні пари [3]. В таких парах середньоарифметичне відхилення Ra точок профілю полімерного матеріалу (типові значення – 0,8...2 мкм) є значно більшим за аналогічний показник металевої поверхні (типові значення – 0,025...0,05 мкм). З огляду на сказане вище, в подальшому розглядається контакт сильно анізотропної шорсткої поверхні (полімерна поверхня) з гладкою (металева поверхня).

Семенюк М.Ф. [4] розглядав Z як стохастичну функцію однієї змінної (стохастичний процес), а дану профілограму як реалізацію такого стохастичного процесу $z=z(r)$. Вважається, що процес $z(r)$ є стаціонарним нормальним із середнім

$$\overline{z(r)} = 0 \quad (1)$$

і кореляційною функцією

$$K_{\theta}(r) = \lim_{L_0 \rightarrow \infty} \frac{1}{2L_0} \int_{-L_0}^{L_0} z(r_1) z(r_1 + r) dr_1. \quad (2)$$

Зручніше працювати із спектральною функцією, яка зв'язана з кореляційною функцією перетворенням Фур'є:

$$\Phi_{\theta}(k') = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_{\theta}(r) e^{-ik'r} dr. \quad (3)$$

Спектральні моменти $m_{n\theta}$ профілограми визначаються таким чином:

$$m_{n\theta} = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_{\theta}(k') k'^n dk'. \quad (4)$$

Фізичний зміст спектральних моментів наступний. Спектральний момент нульового порядку m_0 є дисперсією висот точок поверхні, спектральний момент другого порядку m_2 визначає нахили нерівностей, а спектральний момент четвертого порядку m_4 – кривизни нерівностей поверхні.

Результати дослідження

На першому етапі розрахунку вважаємо поверхні поршня і циліндру в місці контакту гладкими. На другому етапі буде враховано, що поверхня поршня шорстка, а тому в міжконтактний зазор натікає газ, тиск якого впливає на контактний тиск в ущільненні. На рис. 1 представлена розрахункова схема першого етапу.

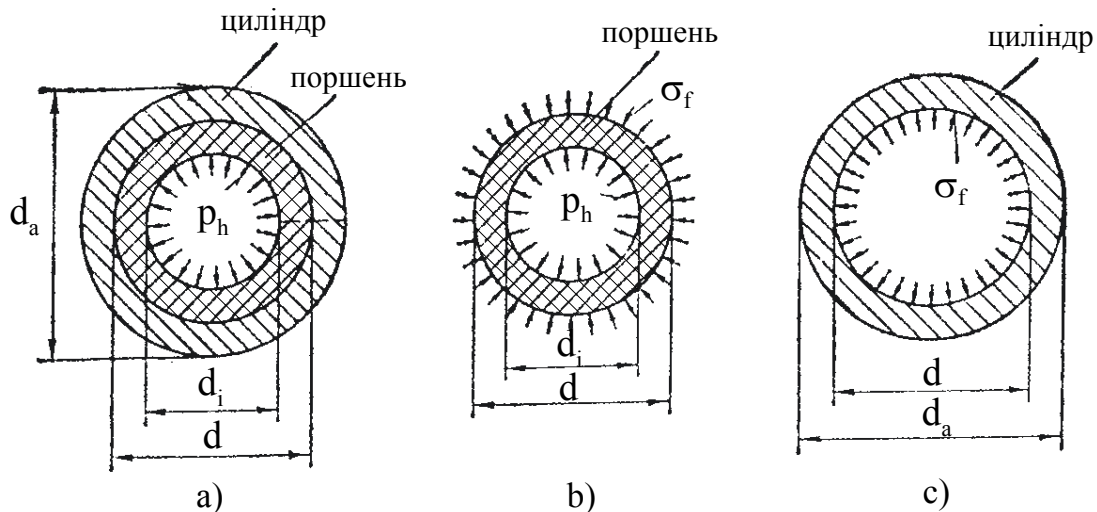


Рис. 1 Розрахункова схема ущільнення:
а) сили, що діють в ущільненні; б) сили, що діють на поршень;
в) сили, що діють на циліндр

Позначимо p_h – тиск газу всередині поршня-зразка, σ_f – номінальний контактний тиск в спряженні циліндр – поршень без врахування шорсткості. Тиск p_h діє на поршень з внутрішньої сторони, а тиск σ_f – зовні (рис. 1б). Приріст зовнішнього радіусу зразка-поршня знайдемо за формулою Ляме [5]:

$$u_p = \frac{1 - \nu_p}{E_p} \frac{d_i^2 p_h - d^2 \sigma_f}{d^2 - d_i^2} r + \frac{1 + \nu_p}{E_p} \frac{d_i^2 (p_h - \sigma_f)}{d^2 - d_i^2} r, \quad (5)$$

де ν_p, E_p – коефіцієнт Пуассона та модуль Юнга матеріалу поршня.

Інші величини, що входять в формулу (5), пояснені на рис. 1б.

Позначимо

$$k_p = (d_i/d)^2 \quad (6)$$

і запишемо (5) у вигляді:

$$\frac{u_p}{r} = \frac{2k_p p_h - [1 - \nu_p + k_p(1 + \nu_p)] \sigma_f}{(1 - k_p) E_p}. \quad (7)$$

Позначивши тепер

$$\chi_1 = \frac{2k_p}{(1-k_p)E_p}; \quad (8)$$

$$\chi_2 = \frac{1-\nu_p + k_p(1+\nu_p)}{(1-k_p)E_p}, \quad (9)$$

отримаємо:

$$\frac{u_p}{r} = \chi_1 p_h - \chi_2 \sigma_f. \quad (10)$$

На циліндр з внутрішньої сторони діє тиск σ_f (рис. 1с). Приріст внутрішнього радіуса циліндра знайдемо за формулою Ляме [5]:

$$u_c = \frac{1-\nu_c}{E_c} \frac{d^2 \sigma_f}{d_a^2 - d^2} r + \frac{1+\nu_c}{E_c} \frac{d_a^2 \sigma_f}{d_a^2 - d^2} r, \quad (11)$$

де ν_c, E_c – коефіцієнт Пуассона та модуль Юнга матеріалу циліндра.

Інші величини, що входять в формулу (11), пояснені на рис. 1с.

Позначимо

$$k_c = (d/d_a)^2 \quad (12)$$

і запишемо (11) у вигляді:

$$\frac{u_c}{r} = \frac{1+k_c+\nu_c(1-k_c)}{(1-k_c)E_c} \sigma_f. \quad (13)$$

Позначивши тепер

$$\chi_3 = \frac{1+k_c+\nu_c(1-k_c)}{(1-k_c)E_c}, \quad (14)$$

отримаємо:

$$\frac{u_c}{r} = \chi_3 \sigma_f. \quad (15)$$

Позначимо d' – зовнішній діаметр поршня та d'_c – внутрішній діаметр циліндра до зборки. При цьому діаметральний натяг складає:

$$\delta = d' - d'_c. \quad (16)$$

Зв'язок приросту радіусів циліндра та поршня визначається співвідношенням:

$$u_c = u_p + \frac{\delta}{2},$$

або

$$\frac{u_c}{r} = \frac{u_p}{r} + \frac{\delta}{2r}. \quad (17)$$

Підставимо в (17) вирази (10, 15):

$$\chi_3 \sigma_f = \chi_1 p_h - \chi_2 \sigma_f + \frac{\delta}{d}. \quad (18)$$

З (18) отримаємо:

$$\sigma_f = \frac{\chi_1}{\chi_2 + \chi_3} p_h + \frac{1}{\chi_2 + \chi_3} \frac{\delta}{d}. \quad (19)$$

Оскільки фізико-механічні властивості матеріалів циліндра та поршня сильно різняться (циліндр – сталевий, а поршень виготовлено з композиційного полімерного матеріалу), то $\chi_2 \gg \chi_3$. З врахуванням цього, отримуємо з (8, 9, 19) розрахункову формулу:

$$\sigma_f = \frac{2k_p}{1-\nu_p + k_p(1+\nu_p)} p_h + \frac{\delta(1-k_p)E_p}{d[1-\nu_p + k_p(1+\nu_p)]}. \quad (20)$$

Формула (20) придатна для розрахунків при будь-яких співвідношеннях зовнішнього діаметру

поршня d' та внутрішнього діаметру циліндра d'_c до зборки.

Врахувати шорсткість поверхні поршня та наявність газу в ущільненні при визначенні номінального контактного тиску σ_n можна, якщо визначати його з рівняння [6]:

$$2(\sigma_n - \sigma_f - p_1) + [(2 - \gamma)p_1 + \gamma p_2] \exp\left(-\frac{1,83\sigma_n}{Eq}\right) = 0, \quad (21)$$

де γ – коефіцієнт, що визначається за формулою [3, 6]:

$$\gamma = 1,4k_N / \sqrt[3]{b^2}, \quad (22)$$

причому розмірність величини b в цій формулі – мм;

k_N – коефіцієнт формули Новикова І.І. [3, 6], що враховує властивості матеріалу поршня-зразка;

E – зведений модуль Юнга контактуючої пари;

q – градієнт шорсткої поверхні;

p_1, p_2 – відповідно тиск газу перед та за ущільнюючим кільцем.

Складність перевірки існуючих формул натікання газу полягає в тому, що вони дають миттєву швидкість, величина якої міняється з часом, оскільки відбувається зміна тиску на виході ущільнюючого елементу. Цю проблему можна розв'язати, якщо розрахувати час, за який тиск газу в замкненій камері, в яку натікає газ, зростає з початкового значення p_a до кінцевого p_s .

Запишемо рівняння Клапейрона-Менделєєва для газу, що знаходиться в замкненій камері:

$$m = \frac{\mu W}{RT} p, \quad (23)$$

де m – маса газу;

μ – молярна маса газу;

W – об'єм камери;

R – молярна газова стала;

T – абсолютна температура газу;

p – тиск газу в камері.

З (23) отримаємо швидкість зміни маси газу в камері:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{\mu W}{RT} \frac{dp}{dt}. \quad (24)$$

Крім того, швидкість зміни маси газу в камері може бути розрахована через натікання газу $Q(p)$:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{\rho_0}{p_0} Q(p), \quad (25)$$

де ρ_0 – густина газу при нормальних умовах (тискові p_0).

Порівнявши (24) та (25), отримаємо:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{RT\rho_0}{\mu W p_0} Q(p). \quad (26)$$

Позначимо:

$$k_t = \frac{\mu W p_0}{RT\rho_0}. \quad (27)$$

Запишемо (27) наступним чином:

$$dt = \frac{k_t}{Q(p)} dp. \quad (28)$$

На підставі (28) визначимо час, за який тиск газу в замкненій камері зростає з початкового значення p_a до кінцевого p_s :

$$t = k_t \int_{p_a}^{p_s} \frac{dp}{Q(p)}. \quad (29)$$

Розрахунок тривалості натікання газу в циліндро-поршневому ущільненні виконується за допомогою програми Versuch [7], написаної з використанням програмного продукту Mathcad Professional. Розрахунок проводиться за наступним алгоритмом [7].

Задаються такі умови проведення експерименту.

1. Характеристики шорсткості поршня-зразка:

- середньоарифметичне відхилення точок профілю Ra ;
- градієнт поверхні q .
- 2. Модуль пружності поршня E_p .
- 3. Коефіцієнт Пуассона поршня μ_p .
- 4. Коефіцієнт формули Новикова І.І. [3, 6], що враховує властивості матеріалу поршня-зразка k_N .
- 5. Діаметральні розміри поршня:
 - зовнішній діаметр до зборки d' ;
 - внутрішній діаметр d_i .
- 6. Ширина ущільнюючої поверхні b .
- 7. Внутрішній діаметр циліндра до зборки d'_c .
- 8. Динамічна в'язкість газу η_B .
- 9. Молярна маса газу μ .
- 10. Ефективний діаметр молекули газу d_m .
- 11. Абсолютна температура газу T .
- 12. Густина газу при нормальних умовах ρ_0 .
- 13. Тиск газу при нормальних умовах p_0 .
- 14. Тиск газу всередині поршня-зразка p_h .
- 15. Тиск газу на вході ущільнюючого елемента p_e .
- 16. Об'єм камери W .
- 17. Початковий тиск газу в камері p_a .
- 18. Кінцевий тиск газу в камері p_s .
- 19. Фізичні константи:
 - молярна газова стала R ;
 - стала Больцмана k .

Розрахунок ведеться в наступній послідовності.

1. Спектральні моменти $m_0(Ra)$, $m_2(q)$ та питома площа шорсткої поверхні $S(q)$ [7].
2. Номінальний контактний тиск в ущільненні $\sigma_n(p, p_e, q)$ за формулами (20, 21).
3. Довжина вільного пробігу $\bar{\lambda}(p, p_e)$ та середня швидкість молекул газу V_g [7]. Середній тиск

газу в ущільненні визначається за формулою:

$$p_{cp}(p) = 0,5(p_e + p).$$

4. Еквівалентний діаметр щілинних каналів [7]:
 - еквівалентний діаметр $d_F(Ra, p, p_e, q)$, знайдений на підставі площі щілини;
 - еквівалентний діаметр $d_P(Ra, p, p_e, q)$, знайдений на підставі периметру щілини;
 - зведений еквівалентний діаметр $d_{екв}(Ra, p, p_e, q)$.
5. Величина натікання газу в ущільненні [7]:
 - для в'язкісного режиму $Q_B(Ra, p, p_e, q)$;
 - для молекулярного режиму $Q_M(Ra, p, p_e, q)$;
 - для перехідного режиму $Q_U(Ra, p, p_e, q)$;
 - для загального випадку (режим натікання газу в ущільненні визначається за критерієм Кнудсена

[8]) за формулою:

$$Q(Ra, p, p_e, q) = \begin{cases} Q_M(Ra, p, p_e, q), & k_r(Ra, p, p_e, q) > 1; \\ Q_B(Ra, p, p_e, q), & k_r(Ra, p, p_e, q) < 0,01; \\ Q_U(Ra, p, p_e, q), & 0,01 \leq k_r(Ra, p, p_e, q) \leq 1. \end{cases}$$

де

$$k_r(Ra, p, p_e, q) = \bar{\lambda}(p, p_e) / d_{екв}(Ra, p, p_e, q).$$

6. Тривалість натікання газу $t(Ra, q, p_e)$ розраховуємо за формулою (29).

Висновки

На основі теорії стохастичних процесів були розроблені методи розрахунку основних характеристик контакту спряжених поверхонь беззмашувальних циліндро-поршневих ущільнень.

Результатом є розробка інженерних методів розрахунку номінального контактного тиску та тривалості натікання газу в металополімерних циліндро-поршневих ущільненнях, що працюють без змащення.

Експериментальна перевірка розробленого інженерного методу визначення тривалості натікання газу $t(Ra, q, p_e)$ в ущільненні, що була проведена на 8 зразках, виготовлених з вініпласту, фторопласту 4, оргскла та флубону 20, засвідчила їх добру точність – розходження між розрахунком та експериментом знаходилося в межах від 3,07% до 18,76%.

Література

1. Francis H.A. Application of spherical indentation mechanics to reversible and irreversible contact between rough surfaces / H.A. Francis // *Wear*. – 1977. – V. 45. – N 2. – P. 221–269.
2. Nayak P.R. Random process model of rough surfaces in plastic contact / P.R. Nayak // *Wear*. – 1973. – V. 26. – P. 305–333.
3. Новиков И.И. Бессмазочные поршневые уплотнения в компрессорах / Новиков И.И., Захаренко В.П., Ландо Б.С. – Л. : Машиностроение, 1981. – 238 с.
4. Semenjuk N.F. Entwicklung von Berechnungsverfahren der Reibungs- und Verschleißtheorie mit Hilfe des Modells stochastischer Felder: Diss. B an der Technischen Hochschule Zittau / Semenjuk N.F. – Zittau, 1991. – 160 s.
5. Соппротивление материалов / [Писаренко Г.С., Агарев В.А., Квитка А.Л., Попков В.Г., Уманский Э.С.]. – К. : Техніка, 1967. – 792 с.
6. Соколан К.С. Розробка на основі теорії стохастичних процесів методу розрахунку коефіцієнту тертя ковзання беззмашувальних поршневих ущільнень : дис. ... канд. техн. наук / Соколан К.С. – Хмельницький, 2001. – 204 с.
7. Тимошук О.Г. Розробка методів розрахунку та експериментального дослідження герметичності беззмашувальних циліндро-поршневих ущільнень : дис. ... канд. техн. наук / Тимошук О.Г. – Хмельницький, 2003. – 386 с.
8. Макушкин А.П. Научно-технические основы создания полимерных уплотнений и узлов трения оборудования криогенных систем : дис. ... д-ра техн. наук / Макушкин А.П. – Балашиха, 1982. – 511 с.

Рецензія/Peer review : 23.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 16.12.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 677.076.24: 677.313

О.В. ЧЕПЕЛЮК, М.П. АРТЕМЕНКО, О.В. ЯКИМЧУК

Херсонський національний технічний університет

КОНЦЕПЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ОДЯГУ З ПОВСТІ: ЕСТЕТИЧНИЙ АСПЕКТ

У статті виявлено комплекс основних естетичних характеристик для валяних із вовни виробів, розроблено їх класифікацію, яка відображає механізм перетворення вхідного інформаційно-матеріального базису у виріб з конкретними проєктованими естетичними характеристиками і носить рекомендаційний характер, що дозволяє реалізувати основну проєктну ідею.

Ключові слова: естетична характеристика, валяний виріб, вовна, повсть, проєктування.

O.V. CHEPELYUK, M.P. ARTEMENKO, O.V. YAKYMCHUK

Kherson National Technical University

DESIGN CONCEPT OF CLOTHES FROM FELT: AESTHETIC ASPECT

A set of basic aesthetic parameters for felted wool products have been found in the article, their classification has been developed, which reflects mechanism of converting of input information and material basis into a product with specific aesthetic projected indicators and has recommendation character. The study identified the main aesthetic characteristics of milled products. The authors developed a hierarchical model of the conversion mechanism of input information and the material basis into milled product with a specific design aesthetic characteristics. The conceptual-structural hierarchy is advisory in nature and can be used in the design of exclusive felted wool. The raw material and the features of the technological process have been given in the article, they allow implementing complex aesthetic characteristic of milled products and the individual indicators that characterize them.

Keywords: aesthetic indicator, felted product, wool, felt, designing.

Постановка проблеми. Сьогодні одним з перспективних напрямків в створенні авторських дизайнерських виробів є виготовлення ексклюзивного одягу, аксесуарів та взуття із повсті. Це зумовлено широкими можливостями маніпулювання її естетичними властивостями. Традиційно вказані характеристики розглядаються окремо в рамках технології швейного або текстильного виробництва. Але, для забезпечення конкурентної здатності одягу з повсті, необхідно говорити про комплексне вивчення цих властивостей і можливість прогнозування якості виробу ще на стадії проєктування. Рішення цього складного завдання актуальне і неможливе без системного наукового підходу до проблеми та одночасного використання в дослідженні основ технології та текстильного дизайну.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що одяг виконує дві основні функції: утилітарну (відповідає прямому призначенню) і соціальну (пов'язану з об'єднанням людей у соціальні групи або з самовираженням окремої особистості в соціумі).

При визначенні якості одягу в роботі [1] виділено споживчий та техніко-економічний рівні. З тієї причини, що вироби з повсті – вироби ексклюзивні, при розрахунку їх вартості в більшому ступені враховуються фінансові можливості конкретних покупців і в меншій – високі витрати виробництва продукції [2]. Це призводить до того, що техніко-економічні показники, що враховують серійність та виробничу технологічність, стосовно одягу з повсті втрачають свою актуальність і в даній роботі розглядатися не будуть.

При проєктуванні одягу з повсті необхідно в першу чергу визначити його естетичні показники. Практично всі розробки, пов'язані з естетикою текстильних виробів та матеріалів, стосуються проблем проєктування швейних виробів [1-3] або тканин [4]. Параметри будови повсті, що обумовлюють її естетичні характеристики, на сьогодні не визначені. Що підтверджується аналізом ряду робіт [5–9], де при визначенні умов проєктування та виготовлення виробів з повсті естетичні характеристики комплексно не враховують.

Постановка завдання. Основними завданнями статті є виявлення та структурно-ієрархічна типізація за формальними ознаками основних естетичних властивостей валяних із вовни виробів, а також визначення проєктно-технологічного механізму їх забезпечення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Перш, ніж приступити до вирішення основних завдань, поставлених у даній роботі, проведемо теоретичне обґрунтування нової концепції проєктування одягу з повсті з урахуванням показників якості одягу. За основу подальших досліджень прийнята ієрархічна структурна схема показників, що визначають споживчі рівні якості одягу [1] з урахуванням ієрархічної схеми зв'язку показників структури тканини і ниток з естетичними вимогами, що пред'являються до одягу [4]. Вироби із повсті мають індивідуальні естетичні характеристики, які обумовлені специфікою процесу валяння та властивостями повсті. Частина характеристик отримана проєкцією відповідних категорій ієрархічної структурної схеми показників, що визначають споживчі рівні якості одягу [1], решта визначалася індивідуально, враховуючи зазначені аспекти та естетично-композиційний синтаксис виробу [9–14].

На наступному етапі проведено аналіз способів реалізації комплексних характеристик естетичності валяних виробів та одиничних показників, що їх характеризують, і визначено механізм їх взаємодії з

характеристиками повсті, які враховуються та використовуються в процесі валяння. В результаті розроблено ієрархічну схему естетичних характеристик валяних виробів із вказаними взаємодіючими зв'язками її складових (рис. 1).

Перший рівень ієрархії включає наступні естетичні характеристики валяних виробів: змістовність образу, відповідність індивідуальним особливостям людини, актуальність, досконалість композиції, досконалість виконання валяного виробу.

Другий ієрархічний рівень має наступне розгалуження:

- змістовність образу підпорядковує собі інформаційну виразність образу, концептуальність, відповідність стилю;
- відповідність індивідуальним особливостям людини включає відповідність особистому естетичному ідеалу, відповідність кольоротипу, відповідність морфологічним ознакам фігури;
- актуальність визначається трендовістю моделі (відповідними модними тенденціями) і прогресивністю;
- досконалість композиції включає відповідність принципам композиції, раціональність використання властивостей композиції, коректність застосування засобів композиції, узгодженість елементів композиції;
- досконалість виконання валяного виробу обумовлюється рівнем технічного виконання повсті, рівнем технічного виконання валяного виробу.

Третій рівень ієрархії структурується наступним чином:

- інформаційну виразність образу, концептуальність та відповідність стилю комплексно обумовлюють знаковість (вираження певного статусу людини), символічність (взаємодія людей за рахунок семантики костюму) та оригінальність (унікальне, своєрідне, не аналогове рішення образу);
- відповідність особистому естетичному ідеалу характеризується відповідністю соціальній ролі, відповідністю культурному середовищу та відповідністю рівню естетичного смаку;
- відповідність кольоротипу та морфологічним ознакам фігури комплексно визначається підкресленням переваг та нівелюванням недоліків споживача;
- трендовість проєктованої моделі включає класичну (відповідно до гармонійних модних констант) та перспективно-циклічну (з урахуванням останніх модних тенденцій) трендовість;
- прогресивність досягається застосуванням в процесі проєктування інноваційних технологій, матеріалів та конструкцій шаблонів;
- відповідність принципам композиції обумовлюється підпорядкованістю всіх частин елементів загальному задуму та виділенню головних і другорядних елементів в композиційно організованій структурі;
- раціональне використання властивостей композиції базується на її фундаментальних законах і включає виразність, цілісність, врівноваженість, статичність-динамічність композиційної структури;
- коректність застосування засобів композиції досягається такими виразними засобами як пропорційність, масштабність, контраст, нюанс, тотожність, симетрія, асиметрія;
- рівень технічного виконання повсті характеризується оптимальним ступенем увалювання волокон та решти елементів повсті, рівномірністю полотна за товщиною, відсутністю небажаної перфорації, надійністю кріплення декору;
- рівень технічного виконання валяного виробу визначається відповідною якістю країв («край» – загальноприйнятий термін серед майстрів валяння, що можливо транслювати на швейні вироби як зріз деталі. Проте оскільки полотно повсті та вироби з неї не кроють та не розрізають, автори вважають за доцільне використовувати в даній роботі загальноживаний на практиці термін) та деталей виробу.

На четвертому ієрархічному рівні такі категорії як знаковість, символічність, оригінальність, відповідність соціальній ролі, культурному середовищу, рівню естетичного смаку, підкреслення переваг, нівелювання недоліків, класична та перспективно-циклічна трендовість, інноваційність технологій, матеріалів, конструкцій шаблонів, підпорядкованість всіх частин елементів загальному задуму, виділення головного та другорядного, виразність, цілісність, врівноваженість, статичність-динамічність, пропорційність, масштабність, контраст, нюанс, тотожність, симетричність та асиметричність виражаються шляхом узгодженого поєднання наступних елементів композиції: форма, силует, пластика, колористичне та декоративно-фактурне рішення.

П'ятий ієрархічний рівень має наступну структуру:

- об'ємно-просторова форма та силует валяного виробу обумовлюється конструкцією шаблону, посадкою виробу на фігури та ВТО, формоутворюючими властивостями матеріалу;
- пластика характеризується жорсткістю та здатністю до драпірування;
- колористичне рішення валяних виробів можливе у наступних варіаціях: однокольорове фронтальне, з локальними кольоровими плямами, меланжеве, градієнтне;
- декоративно-фактурне рішення може бути реалізоване з використанням наступних технік та матеріалів: карвінг, об'ємні елементи з повсті, шиборі, ажур, вишивка, аплікація, екохутро (фліс), ламінування, інтеграція в повсть тканин і трикотажу, застосування волокон з низьким коефіцієнтом усадки, пряжі, префелту, нетекстильних матеріалів (бісеру, каміння тощо).

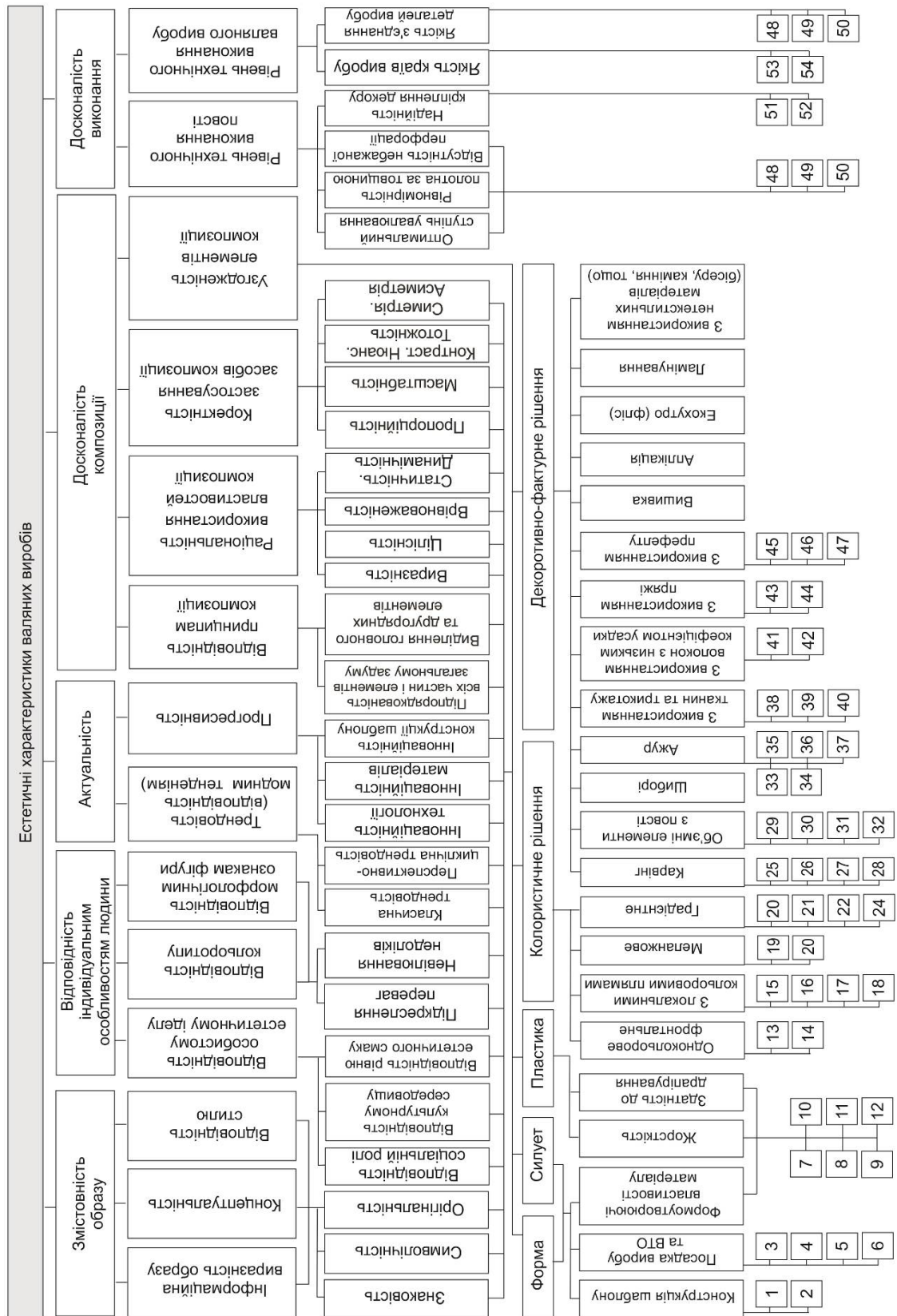


Рис. 1. Ієрархічна схема естетичних проектних характеристик ваяльних виробів

В контексті поточного ієрархічного рівня слід відмітити, що тектоніка костюма значною мірою визначається структурою і властивостями матеріалів – їх формоутворюючими властивостями (формостійкістю), жорсткістю і здатністю до драпірування.

Останній ієрархічний рівень має експлікаційний характер і потребує більш детальної уваги.

Форма костюму в значній мірі досягається використанням шаблона-блокіратора певного типу (плоский (1) або книжка (2)), та визначається видом моделювання базової конструкції. За необхідності

отримати виріб з незначним об'ємом опукло-ввігнутих ділянок, наприклад сукню прилеглого силуету, використовується плоский шаблон. Вироби більш складної об'ємно-просторової форми можна виготовити з використанням шаблону-книжки.

Для отримання виробу заданої форми та силуету важливими є посадка (формування виробу з повсті безпосередньо на фігурі або матриці бажаної форми у вологому стані) або волого-теплова обробка. Посадка відбувається за рахунок притирання руками (3), колотіння стукалками і дерев'яними паличками (4), упарювання (5), відтягування руками або праскою (6). Термін «посадка» загальноприйнятий в практиці валяння і має лексичне значення процесу надання виробу бажаної об'ємно-просторової форми. Здатність повсті до формування визначається рухливістю волокон відносно одне одного в структурі полотна за рахунок специфіки механічних властивостей волокон та здатності до деформації, звойлювання та значної усадки. Витягування полотна повсті відбувається за рахунок випрямлення та зміщення волокон в її структурі.

Візуальне сприйняття повсті і можливість створення з неї об'ємно-просторової форми залежать, насамперед, від її структури. Саме за рахунок спрямованої локальної зміни структури повсті можливе створення певних заданих форм в костюмі, наприклад драпіровок, фалд, опуклостей на окремих ділянках деталей виробу і т.п. Спрямована зміна структури повсті, в свою чергу, відбувається за рахунок вибору:

- виду волокон вовни за походженням (виробником або видом тварини) та геометричними параметрами (7): тониною, довжиною, звивистістю. Використання волокон вовни 14-18 мк дозволяє отримати тонке полотно з високими драпірувальними властивостями. При використанні більш грубої та товстої вовни полотно повсті набуває більшої формостійкості.

- матеріалів для армування (8). У випадку використання тканини: зі збільшенням кількісних показників параметрів її структури (щільності по основі і утку, лінійної густини та крутки ниток) відбувається зростання жорсткості повсті до вигину. Це означає, що погіршується її здатність до драпірування, але зростає формостійкість. При використанні тканин з ниток різного волокнистого складу за умови дотримання інших рівних параметрів, повсть, армована тканиною з натурального шовку, буде м'якша за армовану тканиною з луб'яних волокон (льон, коноплі). Повсть, армована бавовняною або віскозною тканиною, буде мати середні параметри. У випадку армування повсті волокнами різного походження зберігається попередня тенденція: найм'якшим буде полотно, армоване натуральними шовковими волокнами, більш жорстку повсть можна отримати при армуванні волокнами рослинного походження, в найбільшому ступені - луб'яних (льон, коноплі, кропива). При цьому має місце ремарка практичного характеру: при армуванні волокнами віскози слід враховувати спосіб її виробництва. Використання матової німецької віскози дозволяє отримати більш м'яку повсть, ніж при використанні глянцевої російської. Більш значним, ніж сировинний склад волокна, є його кількісний склад та варіант змішування з волокнами вовни: рівномірне змішування на кардних щітках, укладання в один-два шари значної товщини чи тонкими шарами з чергуванням з шарами волокон вовни.

- виду розкладки волокон вовни (9). На сьогодні відомо шість основних варіантів розкладки волокон вовни: однорядна, ортогональна, діагональна, паркетна, радіальна та хаотична (павутинка). Кожен із вказаних видів розкладки може мати варіації. Найм'якше полотно з найвищими драпірувальними властивостями можна отримати з використанням діагонального та паркетного видів розкладки, найжорсткіше – при ортогональному. Розкладка в один ряд використовується за необхідності отримати ефект розширення (волану). При цьому полотно має високі драпірувальні властивості. Радіальна розкладка використовується за необхідності отримання опуклих частин у виробі (в зоні грудей).

- кількості шарів (10). За умови використання однієї і тієї ж кількості волокон вовни та волокон для армування їх можна розкласти у різну кількість шарів різної товщини. При цьому зі збільшенням кількості шарів зменшується їх товщина. Волокна розташовуються в структурі матеріалу більш рівномірно, зменшується їх «паралельність». В наслідок цього збільшується взаємопроникність волокон між шарами, полегшується процес увалювання і, у підсумку, зростає еластичність полотна та його драпірувальні властивості.

- виду, інтенсивності та часу увалювання (11): обробка віброшліфувальною машиною, катання в рулоні, довільне увалювання. При обробці віброшліфувальною машиною волокна вовни під дією вібрації швидко проникають одне між одним та між волокнами іншого походження, повсть набуває щільності. Вказаний спосіб увалювання не дозволяє отримати повсть з заданими показниками якості і використовується як допоміжний для стабілізації волокон вовни в полотні повсті відразу після розкладки. При катанні в рулоні повсть усаджується в напрямку прикладеного навантаження: ущільнюється по товщині і в напрямку катання. При довільному увалюванні повсть усаджується рівномірно по довжині і ширині, але має більш рихлу структуру та найвищу здатність до драпірування. При цьому у майстра також з'являється можливість увалювати повсть дискретно: по-різному на різних ділянках.

- кількості і концентрації мильного розчину (12). З його збільшенням зростає щільність повсті, а отже і її формоутворюючі властивості.

При виготовленні виробу одного кольору волокна можуть бути обрані з представлених на ринку (13) або фарбуватися самостійно (14). При рішенні композиції локальними кольоровими плямами існує можливість використання волокон вовни іншого виду (15), елементів префелту (15), тканини (17) різного кольору або тканин з принтом (18). Для отримання меланжу можна змішувати волокна на кардних щітках (19) або розкладати волокна зі стрічки, що у практиці валяння має назву «Мультикоleur» (20). Ще одним варіантом колористичного рішення виробу є застосування ефекту градієнту. Його реалізація можлива за

умови використання колористичної розтяжки: розкладання волокон одного кольору з поетапним додаванням волокон іншого кольору (21). Крім того використовується розкладання волокон зі стрічки, що пофарбована секційно (22), градієнтне фарбування готового полотна (23) та декорування повсті тканиною, пофарбованою з переходом кольору (24).

Жодне з текстильних полотен не надає дизайнеру настільки широких можливостей, як повсть. Розглянемо способи її декоративно-фактурного оздоблення.

Отримати кратери (25), видовжені лінії, розрізи довільної форми з краями, що виступають (26), лінійні розрізи (27) або заглиблені ділянки іншого по відношенню до верхнього шару кольору, дозволяє використання техніки «карвінг». Технологічно вказані ефекти отримуються наступним чином: між шарами вовни вставляється блокіратор, після певної кількості циклів увалювання він вилучається, а шари, що були розділені блокіратором, не зчіплюються між собою. Цікавим є ефект різьблення (28): повсть виготовляється за умови пошарової розкладки волокон вовни різного кольору з подальшим вирізанням ділянок. Вирізання проводиться під кутом до поверхні повсті.

Найприроднішим є спосіб отримання об'ємних елементів з самої повсті: джутів (25), воланів (25), пластин (26), кульок (27). Для реалізації вказаного способу декорування кульки або джуги з вовни інтегрують між шарами волокон і отримують потовщення. Більш складним є спосіб, при якому заготовки (пластини або джуги) виготовляють, залишаючи один край незв'язаним, який в подальшому інтегрують у виріб.

Ажурного вигляду полотну повсті можна надати кількома способами. Найпоширенішим є вирізання округлих отворів у напівуваляному полотні (прорізний ажур) (33). Його перевагами є акуратні краї отворів, плоске та рівномірне полотно повсті. Часто використовується хаотичне або рівномірне метричне (за квадратною або ромбовидною сіткою) укладання ровниці або пасм вовни (34). Отвори при цьому мають форму неправильної плями, повсть збирається джугами і має овальний перетин.

Спосіб надрізання напівуваляного полотна (35) дозволяє отримати отвори неправильної форми з гострими кутами. Після увалювання під власною вагою полотна провисають, розкриваючи отвори. Даний ажур надає образу брутальності. Необхідно врахувати, що при використанні даного способу значно збільшуються розміри полотна.

Найбільш тонке полотно з перфорацією різного розміру: від майже непомітної до значної, з помітними отворами, можна отримати з використанням техніки розкладки «павутиння» (Cobwel) (36). Вироби виходять ніжними, жіночними, але мають невелику міцність.

Останній варіант отримання ажурного полотна повсті полягає у складанні смужок префелту з подальшим їх увалюванням (37). Вказані полотна виходять більш графічними за рахунок чітких країв, але така техніка потребує великої майстерності.

Декорування повстяного полотна з використанням тканин та трикотажу дозволяє отримати рельєфну поверхню за рахунок меншої усадки тканин, у порівнянні з волокнами вовни (38), гребні (39), елементи, виконані у вітражній техніці з ділянками тканин, невв'язаними у повсть (40).

Декоративні ефекти повсті з використанням волокон з низьким коефіцієнтом усадки дозволяють отримати букльовану поверхню (41) та мармурову текстуру (42). Букльована поверхня отримується шляхом укладання товстого шару волокон або ниток з низьким коефіцієнтом усадки з подальшим інтенсивним довільним увалюванням з великою кількістю мильного розчину. Волокна вовни проникають між волокнами або нитками іншого походження, усаджуються та інтегрують їх в повсть, випускаючи на поверхню петельками.

Мармурова текстура отримується шляхом довільної розкладки невеликої кількості волокон з низьким коефіцієнтом усадки та ниток з подальшим викочуванням в рулоні з незначною кількістю мильного розчину. В даному випадку волокна, що декорують, утворюють на поверхні повсті хвилясті лінії.

Декорування повсті пряжею різних видів (традиційною, крученою, фасонною) призводить до появи на поверхні полотна графічних ліній (43) і букле (44).

Декор з використанням префелту має наступні варіації: зчеплення елементів префелту між собою (45), накладання префелту на розкладені волокна (46) або на тканину (47).

Інші способи декорування докладно описані в роботі авторів [15].

Рівень технічного виконання повсті визначається оптимальним ступенем увалювання, рівномірністю полотна за товщиною, відсутністю небажаної перфорації, надійністю кріплення декору. Розглянемо способи забезпечення вказаних факторів. Більша частина з них досягається рівномірною розкладкою волокон (48), дотриманням технологічних процесів при увалюванні (49) та ВТО готового виробу (50). Наприклад, при нерівномірній розкладці повсть має нерівномірну товщину, небажану перфорацію.

Негативно на текстуру повсті впливає надмірний час формування при обробці віброшліфувальною машиною, занадто раннє та інтенсивне довільне увалювання. Волокна вовни при цьому поглинають волокна декору та елементи рельєфу втрачають об'ємність. Важливою для текстури повсті є кількість та концентрація мильного розчину (49, 50). Велика кількість концентрованого розчину зумовлює швидке проникнення волокон вовни як взаємне, так і між волокнами та нитками тканин, які використовуються при декоруванні. В наслідок чого цього декор поглинається вовною. При катанні в рулоні поверхня повсті виходить більш рівномірною і гладкою, волокна, нитки та тканина, що використовується для декорування, не поглинаються. Натомість при довільному увалюванні (киданні, перебиранні, шарпанні) поверхня набуває яскраво виражений креповий ефект.

При недостатньому ступені увалювання в процесі експлуатації повсть деформується, втрачає

форму, пілінгується. При надмірному – втрачає здатність до драпірування, що є особливо важливим у виготовленні палантинів.

Надійність кріплення елементів декору досягається достатнім за часом та інтенсивністю попереднім його привалюванням до повсті віброшліфувальною машиною (51) або мануально (52).

При обрізанні країв виробу втрачається його рукотворний вигляд, тому їх рівності доцільно досягати під час валяння виробу. Для того, щоб отримати рівні краї та виключити можливість розширення прилеглої до краю частини виробу, необхідно на даній ділянці розкласти волокна вовни паралельно краю (53). При увалюванні не допускається надмірне розтягування вказаної ділянки (54).

При недотриманні напряму розкладання волокон порушується баланс виробу.

Висновки

В результаті дослідження визначено основні естетичні характеристики валяних виробів. Розроблено ієрархічну модель механізму перетворення вхідного інформаційно-матеріального базису у валяний виріб з конкретними проєктованими естетичними характеристиками. Дана концептуально-структурна ієрархія носить рекомендаційний характер і може бути використана при проєктуванні ексклюзивних валяних виробів із вовни. Наведено параметри сировини і особливості технологічного процесу, що дозволяють реалізувати комплексні характеристики естетичності валяних виробів та одиничні показники, що їх характеризують.

В подальших дослідженнях планується визначити основні ергономічні характеристики валяних виробів і методи досягнення цих характеристик, розробити відповідну ієрархічну модель.

Література

1. Основы конструирования одежды : учеб. [для студ. высш. учеб. зав.] / [Е.Б. Коблякова, А.В. Савостицкий, Г.С. Ивлева и др.]. – М. : Легкая индустрия, 1980. – 448 с.
2. Супрун Н.П. Конфекціювання матеріалів для одягу : навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / Н.П. Супрун, Л.В. Орленко, Е.П. Дергуляс, Т.О. Волинець. – К. : Знання, 2005. – 159 с.
3. Пугачевский Г.Ф. Товарознавство непродовольчих товаров. Частина І. Текстильне товарознавство : підруч. [для студ. товарознавчих спеціальностей вищ. закл. освіти] / Г.Ф. Пугачевский. – К. : НМЦ «Укоопосвіта», 1999. – 596 с.
4. Чепелюк О.В. Концепція проєктування структури тканини з урахуванням ергономічних вимог до одягу / О.В. Чепелюк, І.А. Прохорова, О.А. Трубіна // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2010. – № 4 (54). – С. 188–192.
5. Зайцева Т.А. Анализ способов раскладки волокнистого холста с учетом свойств формируемых валяных полотен [Електронний ресурс] / Т.А. Зайцева, М.В. Жогова, И.А. Шеромова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-1. – Режим доступа : <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21414>. – (Дата обращения : 13.02.2016).
6. Фот Ж.А. Разработка рекомендаций по проектированию верхней одежды из авторских полотен, созданных в технике «нуновойлок» / Ж.А. Фот, К.А. Фишер // Сборник статей по материалам XLVI Международной научно-практической конференции «Технические науки – от теории к практике», (Россия, г. Новосибирск, 27 мая 2015 г.). – Новосибирск, 2015.
7. Фот Ж.А. Актуальные направления в текстильном дизайне. Нуновойлок / Ж.А. Фот, К.А. Фишер // Сборник статей по материалам XL Международной научно-практической конференции «Технические науки – от теории к практике», (Россия, г. Новосибирск, 19 ноября 2014 г.). – Новосибирск, 2014.
8. Мокрое валяние [Електронний ресурс] / Волкова Е. – Режим доступа : <http://e-vo.me/wiki/mokroe-valyanie>
9. Портер М. Конкуренция / Портер М. ; пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2005. – 608 с.
10. Козлова Т.В. Теория художественного проектирования : учебник для вузов / Козлова Т.В. – М. : МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2005. – 380 с.
11. Гусейнов Г.Г. Композиция костюма : учеб. пособие : Доп. УМО по спец. 052400 "Дизайн" / Г. Г. Гусейнов. – 2-е изд., стер. – М. : Академия, 2004. – 432 с.
12. Андросова Э.М. Основы художественного проектирования : учеб. пособие / Э.М. Андросова. – Челябинск : ЧГУ, 2005. – 176 с.
13. Ермилова В.В. Моделирование и художественное оформление одежды : учебное пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В.В. Ермилова, Д.Ю. Ермилова. – М. : Мастерство; Академия; Высшая школа, 2001. – 184 с.
14. Ніколаєва Т.В. Тектоніка формоутворення костюма : навчальний посібник / Т.В. Ніколаєва. – К. : Арістей, 2005. – 224 с.
15. Чепелюк О.В. Декоративні ефекти в одязі та аксесуарах з повсті / О.В. Чепелюк А.В. Черностан // Аркадія: мистецтвознавчий і культурологічний журнал – Херсон : Гринь Д.С., 2016. – № 1 (46). – С. 119–122.

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЕКТУВАННЯ ДИТЯЧИХ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ GALS - ТЕХНОЛОГІЙ

Проектування дитячих виробів потребує всебічної інформаційної підтримки на всіх етапах життєвого циклу продукції. Це досягається застосуванням сучасних методів проектування, впровадженням в процес проектування CALS-технологій. В даній роботі розглядається концепція проектування дитячих швейних виробів та можливість застосування CALS-технологій, розглядаються питання моделювання процесів підготовки їх виробництва в системі «матеріал – виріб», це дає змогу розробити структуру інтегрованого інформаційного середовища та його основних елементів.

Ключові слова: швейні вироби, процес проектування, системний підхід, CALS-технології, життєвий цикл, інтегроване інформаційне середовище.

О. П. БОХОНКО

Khmelnitsky National University

A SYSTEMATIC APPROACH TO THE DESIGN OF CHILDREN'S GARMENTS WITH THE USE OF GALS-TECHNOLOGIES

The design of children's products requires a comprehensive information support at all stages of the product life cycle. This is achieved by using of modern design methods, introduction of CALS-technologies to the design process. We considered in this paper the designing concept of children's garments and the possibility of application of CALS-technologies, we also discussed the modelling problems of preparation processes of production in the system "material – product", it gives the opportunity to develop the structure of the integrated information environment and its basic elements.

Keywords: clothing, design process, systematic approach, CALS-technologies, life cycle, integrated information environment.

Швейні вироби дитячого асортименту відносяться до групи товарів, яка потребує особливої уваги.

Відомо, що вимоги до дитячих швейних виробів обґрунтовані з точки зору їх безпеки та екологічності, надійності та комфортності при експлуатації. При виготовленні дитячого одягу значну увагу приділяють його якості. Ця проблема є актуальною для всіх швейних підприємств, особливо на сучасному етапі, коли виробництво якісної продукції забезпечує її конкурентоспроможність, що в свою чергу є основною умовою подальшої успішної діяльності швейного підприємства.

Висока якість швейних виробів вимагає високої якості матеріалів, які застосовують для їх виготовлення, високу якість сучасного обладнання, впровадження прогресивних технологій та методів організації виробництва. Таким чином, задача конкурентоспроможних швейних виробів має комплексний характер і потребує системного підходу на всіх етапах виробництва.

Аналіз існуючих даних

Методологічним питанням випуску продукції високої якості надається значна увага. Досвід роботи відомих підприємств різних країн та сучасні вимоги до якості продукції дали змогу розробити стандарти якості серії ISO 9000. Процесний підхід, який забезпечується цією системою стандартів, розглядається як сукупність взаємопов'язаних видів діяльності, що перетворює входи на виходи, тобто входи одного процесу є виходами іншого, що виконується в межах системи процесів, при цьому забезпечується взаємодія між ними та їх управлінням. Однак, для випуску продукції конкурентної та якісної, в тому числі швейних виробів дитячого асортименту, необхідна детальна інформаційна підтримка всіх процесів проектування та виробництва на всіх етапах життєвого циклу продукції.

Виготовлення швейних виробів, в тому числі дитячого асортименту, є складним завданням, тому процес проектування швейного виробництва можемо віднести до проектування складних об'єктів, який потребує системного підходу. При вирішенні завдань проектування і виготовлення одягу застосування сучасних інформаційних технологій дає позитивні результати одночасно для всіх етапів виробництва, але особливо актуальним є застосування GALS-технологій.

В основу GALS-технологій покладено системність підходу до інформаційної підтримки всіх процесів життєвого циклу продукції. Метою цих технологій є інформаційне забезпечення життєвого циклу виробу. Таким чином, ідея інтегрованого інформаційного середовища трансформувалась в самостійне направлення інформаційного забезпечення.

Концепція GALS-технологій має на увазі уніфікований засіб управління та взаємодії всіх об'єктів даного циклу.

До базових принципів GALS-технологій відносять:

- віртуальний обмін даними;
- інтегровану підтримку процесу виробництва;
- логістичний супровід поствиробничої фази життєвого циклу продукції.

До інформації, що зберігається в інтегрованій інформаційній системі мають допуск усі учасники

процесу життєвого циклу конкретної продукції. Крім того, за вимогою, інформація може бути передана за допомогою програмних засобів [1].

Застосування GALS-технологій в швейній промисловості розглянуто в роботах [2;3], де аналізується можливість підвищення якості та конкурентоспроможності швейних виробів.

В роботі [3] також надається розроблена структура загальної схеми руху інформації за всіма етапами життєвого циклу продукції (ЖЦП).

Метою даної роботи є аналіз життєвого циклу швейних виробів дитячого асортименту, розробка загальної структури основних етапів процесу проектування із застосуванням процесного підходу в межах окремих підетапів процесу.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні питання:

- проаналізувати життєвий цикл швейних виробів дитячого асортименту;
- виділити окремі етапи життєвого циклу продукції, розглянути їх окремі взаємозв'язки;
- розробити загальну структуру інтегрованої бази даних щодо дитячих швейних виробів.

Виклад основного матеріалу

Як відомо, основою GALS-технологій є інтегроване інформаційне середовище, яке є розподіленим зберіганням даних. Це інтегроване інформаційне середовище існує в мережевій комп'ютерній системі. Вона охоплює всі підрозділи підприємства, що безпосередньо впливають на життєвий цикл продукції. Ядром інформаційно-інтегрованого середовища є інтегрована база даних, якою можуть користуватись різні проблемно-орієнтовані моделі.

В інтегрованій базі даних містяться інформаційні об'єкти, які адекватно відображають в інформаційний простір сутність фізичного світу, тобто предмети, обладнання, матеріали, вироби, процеси, технології, документи, проекти, фінансові ресурси, персонал тощо. Моделі, які є складовою конкретних предметних областей, через спеціалізовані додатки звертаються в базу даних, знаходять у ній необхідні інформаційні об'єкти, обробляють їх і розміщують результати цієї обробки в інтегровану, або загальну базу даних. Першочерговим є поділ інформації в інформаційно-інтегрованому середовищі на дві бази даних:

- загальна база даних про виріб;
- загальна база даних про підприємство.

В подальшому пропонується розглядати загальну структуру інтегрованого інформаційного середовища стосовно дитячого одягу. Тому в основу покладено проблемно-орієнтовані моделі, які входять в склад загальноприйнятої структури інформаційно-інтегрованого середовища, а також важливого елементу цього середовища – інтегрованої бази даних стосовно швейних виробів дитячого асортименту.

Для цього детально досліджується життєвий цикл виробів дитячого асортименту. Проведені дослідження показують, що життєвий цикл продукції в цьому випадку необхідно розглядати як систему, яка складається з життєвого циклу кінцевого продукту і життєвого циклу компонентів, які в свою чергу також можуть бути кінцевим продуктом.

Таким чином вирішується питання проектування готових виробів, як складної системи “матеріал – виріб”, що, в свою чергу, є одним з елементів процесного підходу.

При виготовленні дитячого одягу повинні виконуватись вимоги споживачів та вимоги нормативних документів, що забезпечують безпеку та комфортність дитячого одягу.

Враховуючи відомі фактори розроблена структурна модель інформаційної взаємодії процесів життєвого циклу верхнього дитячого одягу та матеріалів, що застосовуються для їх виготовлення в системі “матеріал-виріб”. На рис. 1, 2 представлені моделі життєвого циклу матеріалів та життєвого циклу виробу, як сукупність взаємопов'язаних процесів, а також встановлені прямі та зворотні зв'язки даних процесів.

При цьому встановлено, що життєвий цикл матеріалів не закінчується пост-виробничою стадією кінцевого продукту, а продовжується у виробничому процесі виробу. Виходячи із визначення життєвого циклу продукції, ряд процесів починається ще до взаємодії життєвих циклів матеріалу та виробу.

Аналіз етапів життєвого циклу матеріалів і життєвого циклу дитячого одягу, розділ “Дослідження та проектування” показав, що перші етапи виконуються паралельно. Роботи починають з маркетингових досліджень для проектування матеріалів і для проектування дитячих виробів. Об'єм робіт майже рівнозначний: виконується аналіз ринків збуту, досліджується кон'юнктурний попит, вивчається робота конкурентів, вимоги споживачів. Оптимальним є паралельність робіт по проектуванню матеріалів та виробів у часі. Однак етап виготовлення матеріалів повинен бути першочерговим у порівнянні з виробничим процесом виготовлення конкретного виробу.

Розроблена схема інформаційної взаємодії моделі показує, що прямий зв'язок життєвого циклу матеріалів та життєвого циклу дитячого одягу починається на пост-виробничій стадії матеріалів, а зворотній зв'язок виконується на етапі закупівлі матеріалів, коли були виготовлені текстильні матеріали за сформованими характеристиками. Зведена загальна модель взаємодії процесів життєвого циклу матеріалів та виробів з них поділяється на етапи, розділи та підрозділи.

Наповненість структурних підрозділів конкретними елементами етапів життєвого циклу продукції дитячого асортименту не є значенням постійним. Деякі розділи цих етапів можуть виконуватись послідовно, або паралельно. Наприклад, технологічний процес виробництва може проводитись одночасно з розробкою робочої документації, одночасно можуть обиратися обладнання та засоби механізації, розроблятися методи

обробки вузлів та складатися послідовність виготовлення виробу.

В загальному вигляді розроблена модель відображає послідовність робіт за етапами життєвого циклу матеріалів та життєвого циклу виробів. Застосування принципів системного підходу дає можливість узагальнити та представити життєві цикли у вигляді єдиної системи. Ця система має значну кількість елементів та складні просторові та часові зв'язки між собою, тобто містить складну структуру, складні функції та різноманітні характеристики.

При виготовленні дитячого одягу застосовують матеріали верху, прикладні та підкладкові матеріали. Крім того, дитячий одяг повинен бути естетично оформленим, тому для цього застосовують оздоблювальні матеріали.

В роботі ґрунтовно розглядається життєвий цикл матеріалів верху, який умовно назовемо “основні матеріали”, сукупність інших матеріалів – підкладкових, прикладних та оздоблювальних, умовно назовемо “додаткові матеріали”. На рис. 1 представлена перша частина моделі інформаційної взаємодії життєвого циклу основних та додаткових матеріалів і дитячих швейних виробів в системі “матеріал – виріб”

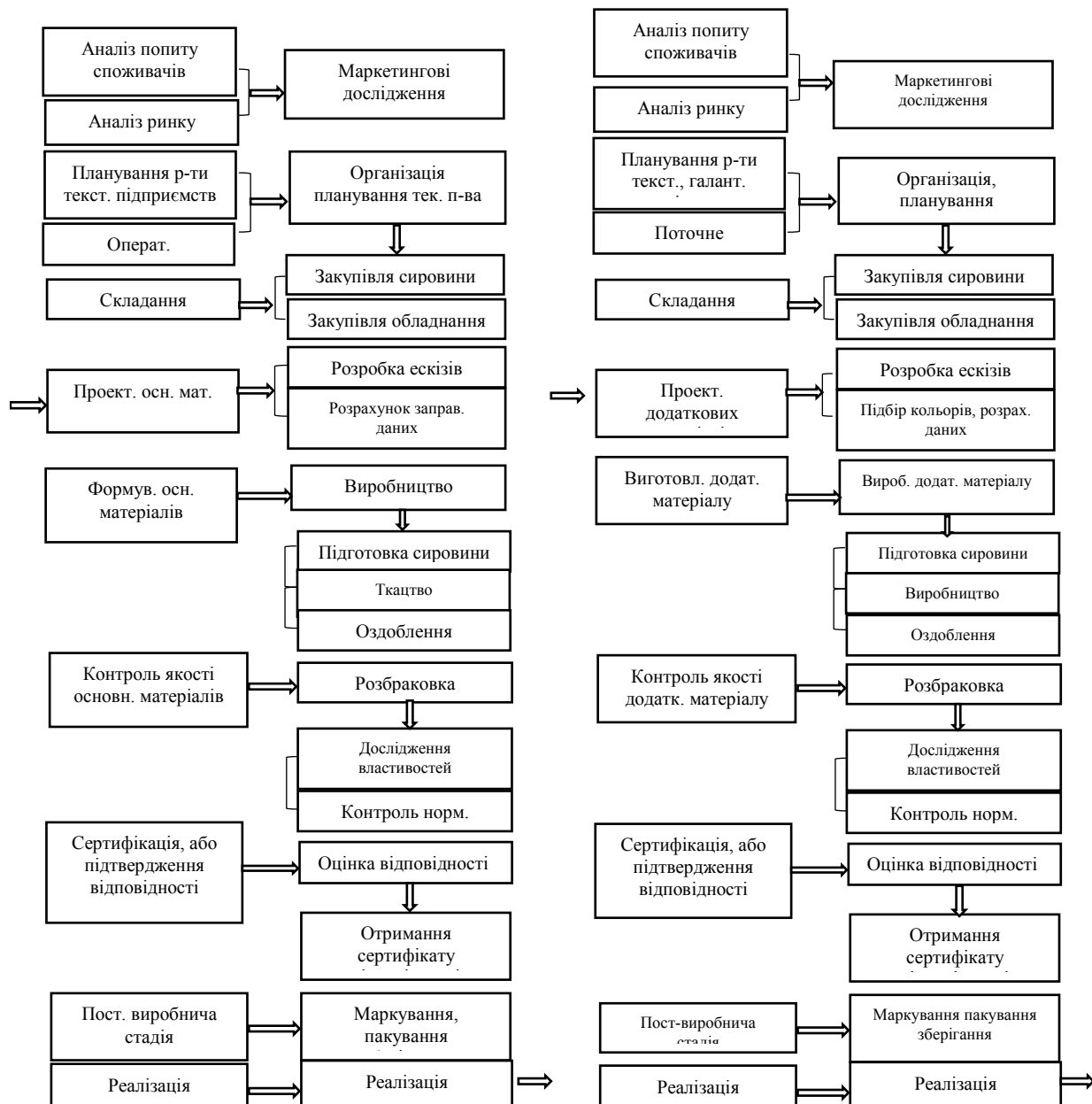


Рис. 1. Модель інформаційної взаємодії процесів життєвого циклу основних та додаткових матеріалів дитячого швейного виробу в системі «матеріал – виріб». Частина I

Безпосередньо модель життєвого циклу дитячого швейного виробу також поділяється на типові етапи: дослідження та проектування, виробництво та виготовлення, реалізація та експлуатація. Взаємозв'язок з життєвим циклом текстильних матеріалів виконується на першому етапі, підетап “технічне проектування” вирішує питання підготовки виробництва, закупівлі матеріалів, або складання договорів за даним питанням. Якщо необхідно мати матеріали з заданими параметрами або властивостями, зв'язок повторюється на підетапі “технічне проектування”.

На рис. 2 представлено модель взаємодії життєвого циклу виробу дитячого асортименту та текстильних матеріалів.

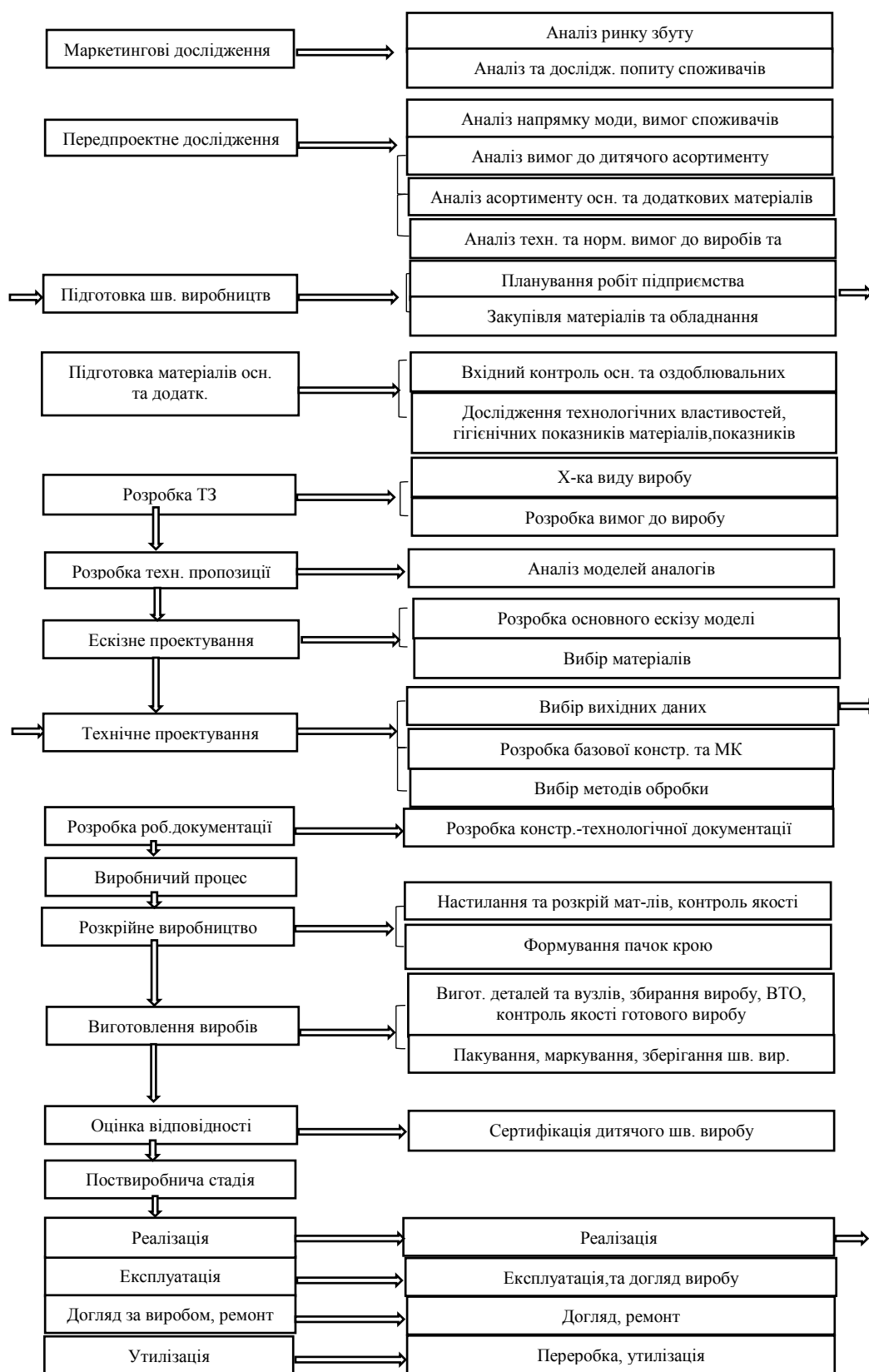


Рис. 2. Модель інформаційної взаємодії процесів життєвого циклу дитячого швейного виробу та текстильних матеріалів в системі “виріб – матеріал”. Частина 2

Розроблені моделі складені з різних підсистем, що функціонують в комплексі загальної системи. В основу моделей покладено принцип системності, який забезпечує зв'язки між підрозділами та підсистемами загальної зведеної системи. Життєвий цикл матеріалів та швейних виробів можна представити як складну

систему множин.

Система складається з трьох підсистем – життєвого циклу основних матеріалів – A1, життєвий цикл додаткових матеріалів – A2 та життєвого циклу дитячого виробу – A3:

$$A = \{A1; A2; A3\}$$

При цьому і для виробів, і для основних і додаткових матеріалів розглядаються:

a1 – передпроектна стадія;

a2 – підготовча стадія;

a3 – виробнича стадія;

a4 – сертифікація, або заява про відповідність;

a5 – поствиробнича стадія.

Це можна записати як:

$$A1 = \{a1i; j1i\}; A2 = \{a2i; j2i\}; A3 = \{a3i; j3i\}; i = 1-5.$$

В свою чергу кожна зі стадій життєвого циклу також представляє множинну організаційних та технологічних стадій.

$$a_i = \{a_i j_i\}, i = 1; n; j_i = 1;$$

де $a_i j_i$ – етапи підрозділів життєвого циклу які відносяться до i -ї стадії.

Для життєвого циклу дитячого виробу:

$$J1,1 = 2; J1,2 = 3; J1,3 = 2; J1,4 = 2; J1,5 = 5.$$

Для життєвого циклу основного матеріалу:

$$J2,1 = 2,1; J2,2 = 2; J2,3 = 1; J2,4 = 2; J2,5 = 3.$$

Для життєвого циклу додаткових матеріалів:

$$J3,1 = 1; J3,2 = 2; J3,3 = 1; J3,4 = 2; J3,5 = 3.$$

Виходячи з цього розроблена модель взаємодії процесів життєвого циклу основних матеріалів, додаткових матеріалів та виробів з них, яка дає можливість мати уяву про склад та структуру загального процесу.

Зведена модель підсистем взаємодії процесу життєвого циклу основних та додаткових матеріалів та життєвого циклу швейних виробів дитячого асортименту дозволила розглянути структуру та сформувати інформаційні об'єкти загальної інтегрованої бази даних. Загальна база даних стосовно цього асортименту має наступні розділи: нормативно-довідниковий розділ, довготривалий та актуальний. Зміст розділів розроблено з врахуванням особливостей виготовлення дитячого одягу та вимог до нього.

Нормативно-довідниковий розділ має наступні підрозділи-інформаційні об'єкти: нормативні та технічні документи, що встановлюють технічні, нормативні та екологічні вимоги до матеріалів та виробів. До цього розділу відносять також інформаційні об'єкти, що застосовують в якості типової вихідної інформації при проектуванні дитячого одягу, наприклад вікова група, розмірні ознаки в статичній та динамічній, важливим є також величини допустимого тиску виробу на тіло дитини. До нормативно-довідникового розділу можна віднести типові методи та методики проектування вимоги до сертифікації, нормативні та довідникові матеріали та документи та інші.

Довготривалий розділ пропонується поділити на два підрозділи: архівний та діючий. В першому підрозділі будуть знаходитись готові проекти; ескізи моделей, типові базові конструкції, типові методи обробки виробів, послідовності та інше. До другого підрозділу пропонується віднести дані про матеріали класичні та нові, дані про вироби, тенденції моди на перспективний період, а також інформацію про типізацію та уніфікацію деталей крою, методів обробки вузлів та інші розробки підприємства.

Актуальний розділ включає до себе усі проектні рішення стосовно виробу, що прийнятий до виготовлення. До цього розділу відносяться: проектна документація, технічне завдання на виріб, конструкторське рішення, технологічне рішення та документація по цим підрозділам.

Структура загальної бази даних по виробу представлена на рис. 3. Розділи бази даних можуть поповнюватись інформацією на різних етапах життєвого циклу продукції з внутрішніх та зовнішніх джерел інформації.

Розроблена структура має самий загальний характер. З метою виконання деталізації по кожному розділу і визначення змісту інформаційних об'єктів необхідно в подальшому провести системний аналіз інформаційної взаємодії підсистем життєвого циклу, а також виявити інформаційні масиви вхідної та вихідної інформації, визначивши при цьому конкретний асортимент дитячого виробу.

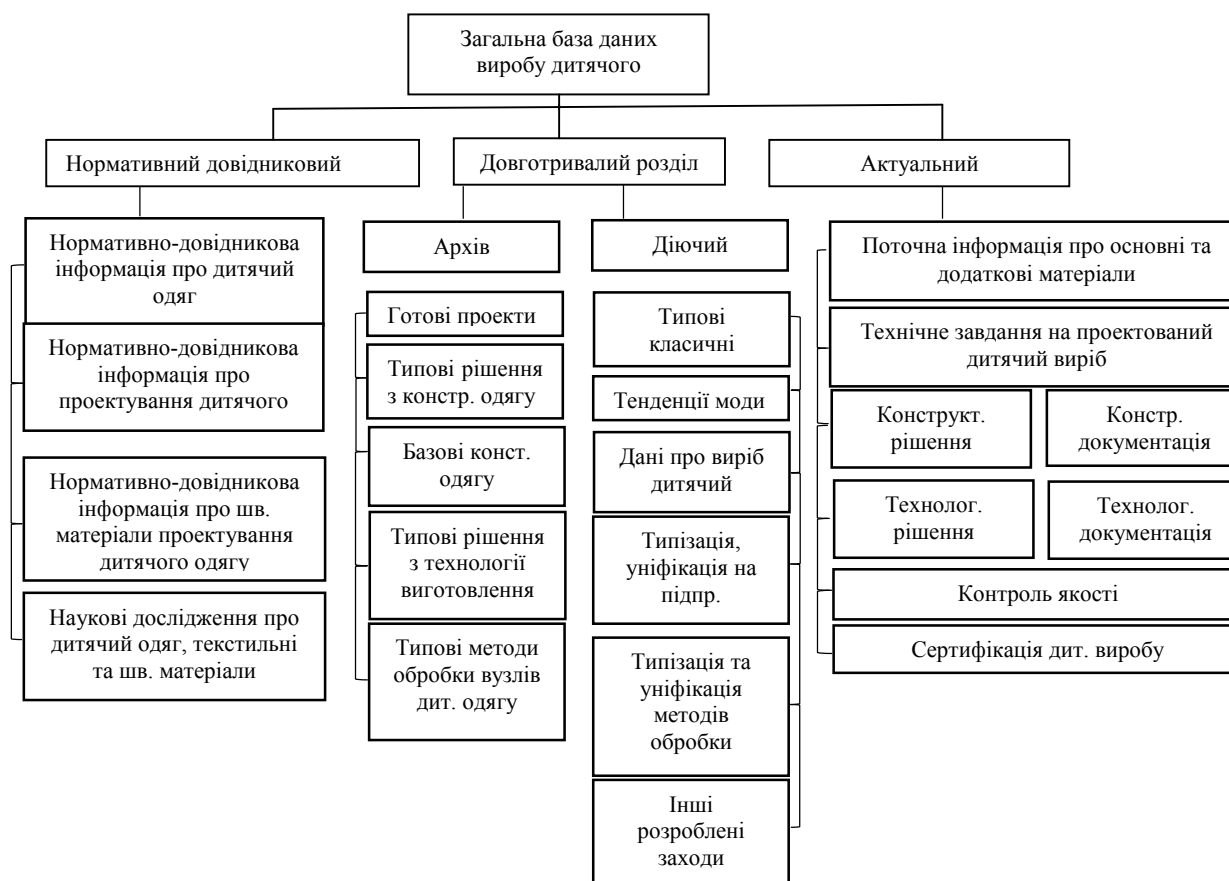


Рис. 3. Загальна інформаційна схема бази даних дитячого швейного виробу

Висновки. В роботі виконано аналіз життєвого циклу швейного виробу дитячого асортименту та життєвого циклу текстильних матеріалів для нього. Розроблена загальна модель інформаційної взаємодії підсистем життєвого циклу дитячих швейних виробів, а також структура інтегрованої бази даних стосовно дитячого виробу, яка носить загальний характер, яка дозволить одночасно бачити весь спектр робіт, які необхідно виконати від початкових стадій проектування до завершальних стадій виготовлення одягу.

Література

1. Концепция CALS-технологий [Електронний ресурс] / НИЦ CALS-технологий. Прикладная логистика. – 2003. – Режим доступу : <http://www.cals.ru/about/mission/>.
2. Мокеева Н.С. CALS-технологии. Оценка готовности швейных предприятий к их внедрению / Н.С. Мокеева, Т.А. Проскурдина, В.А. Веретено // Швейная промышленность. – 2004. – № 3. – С. 34–36.
3. Бохонько А.П. Системное проектирование процессов швейного производства на основе концепции CALS-технологий / А.П. Бохонько // Материалы международной научно-практической конференции "Устойчивое развитие и технологические инновации", Гянджа (Азербайджан). – 2014. – С. 329–335.

Рецензія/Peer review : 23.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 12.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Домбровський А.Б.

УДК 687.016:391(477)

І.В. ВАСИЛЬЄВА, Є.П. ГУЛА, О.С. ВАСИЛЬЄВА

Київський національний університет технологій та дизайну

РОЗРОБКА ПІДХОДУ ДО ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ СУКОНЬ-ОБЕРЕГІВ НА ОСНОВІ НАРОДНОЇ СИМВОЛІКИ УКРАЇНЦІВ

В роботі досліджено та проаналізовано етнічні складові культурної спадщини українського села та народного костюму, визначено орнаментацию як спільну етнічну характеристику. Встановлено свастику як один з базових елементів геометричної національної орнаментации. Розроблено класифікації крою українських сорочок та місць розташування на них декору згідно з принципами, закладеними у побудову свастичних символів. Розроблено підхід та методику проектування суконь-оберегів з використанням свастики, як конструктивного та конструктивно-декоративного елементу з визначеним місцем розташування декору.

Ключові слова: свастика, українське село, українська сорочка, народний орнамент, конструктивний устрій.

I.V. VASYLYEVA, E.P. GULA, O.S. VASYLYEVA

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

DEVELOPMENT APPROACH TO DESIGN DRESSES GUARDIAN BASED ON UKRAINIAN NATIONAL SYMBOLISM

The article studied and analyzed the ethnic composition of the Ukrainian cultural heritage and folk costumes. Ornamentation defined as shared ethnic characteristics. Determined swastika as one of the basic geometrical elements National ornament. Classification Ukrainian cut shirts and methods of location on their decor accordance with the principles laid down in the construction swastika symbols. The approach and methodology of designing dresses guardian using the swastika as a meaningful and constructive and decorative element and placements decor.

Keywords: swastika, Ukrainian shirt, folk ornament, constructive system.

Вступ

Швидке зростання ритму життя невинно позначається і на сучасній моді. Завдяки постійній зміні та повторюваності стилів та форм одягу, відбувається перенасичення глобально подібними елементами, завдяки взаємопроникненню традицій різних народів, що призводить до збільшення попиту у суспільстві на український народний одяг та його стилізації. На часі актуальним є повернення українських національних традицій у костюм, що дозволяє підкреслити культурну приналежність, водночас осучаснити моду, де даний стиль одягу раніше не розглядався.

Аналіз літературних джерел дозволив вивчити і систематизувати спільні особливості ключових складових елементів української культури. Питанням національних традицій саме у сучасному жіночому одязі з позиції етнічної символіки українців практично ніхто не займався. Такі науковці, як О.М. Мартинова, О.М. Лагода та К.М. Стеценко розглядали проблему національної ідентичності у практиці створення сучасного костюму [1]. Інші автори акцентували увагу на відображенні особливостей національних елементів оздоблення в сценічних костюмах та колекціях українських дизайнерів – Лілії Пустовіт, Роксолани Богуцької, Ірина Караванської та інших [1–3]. В роботах описано сучасні особливості оздоблення та декорування українського народного костюму, проте відсутній встановлений зв'язок із національною культурою та її символікою. За результатами аналітичних досліджень встановлено відсутність зв'язків використовуваних народних елементів у сучасному одязі з їх історично-символічним значенням [4–6].

Експериментальна частина

Метою даної роботи є розробка підходу до дизайн-проектування суконь-оберегів на основі народної символіки українців, виконання її структурного аналізу, визначення об'єднуючих ключових особливостей та використання при створенні конструктивно-технологічних рішень виробів нових колекцій одягу.

Українська національна ідентичність найяскравіше відображена в українському селі та його побуті [4]. Вивчення та аналіз складових елементів культурної спадщини українського села надали повне та детальне враження про національні історичні традиції [2–7]. Завдяки цьому виконана структуризація орнаментальних мотивів української культури. З метою формування творчої концепції виокремлено основні групи орнаментации елементів побуту, народного костюму та архітектури, проведено порівняльний аналіз і досліджено їх знаково-комунікативні функції та зв'язок української символіки для усіх етнічно-побутових складових елементів [4].

Завдяки проведеному порівняльному аналізу виділено ключові елементи, на яких базується майже вся народна орнаментация (рис. 1). До таких елементів належать хрести та сварги (свастики), на основі яких побудовано 90% народної орнаментации. Аналіз історичних та наукових літературних джерел дозволяє стверджувати, що свастика відома сучасності з часів палеоліту, та є основною всесвітньо відомого меандру, який зустрічається в культурі багатьох народів світу.

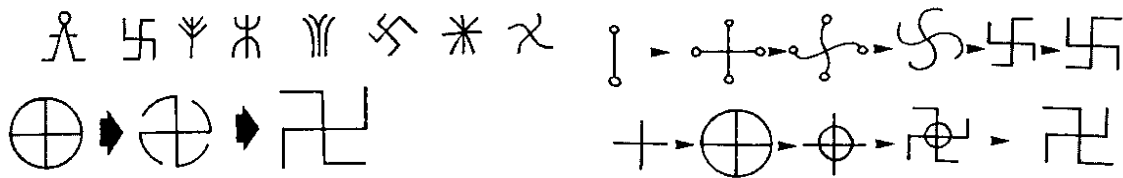


Рис. 1. Базові символи та свастики часів Трипілья

Свастичні символи, яких налічується понад 144 види, існують в усіх складових українського народного села, в орнаменті костюму та предметів побуту. В основному використовуються складні вторинні свастичні символи, кожен з яких має своє сакральне значення або є уособленням язичницького божества. Протягом усієї історії України її населення вшановувало традиції, закладені пращурами. Найбільш повно це відображено у одязі, який і у повсякденному житті має інформаційний сакральний зміст, що є на сьогодні особливо актуальне питання. Завдяки зростанню національної свідомості у суспільстві постає необхідність створення повсякденного одягу, який буде своєрідним оберегом. Сучасний ринок одягу містить значну кількість виробів, що візуально нагадують національно традиційний, проте не несуть інформаційної цінності. Перенасичення «показовим» українством призводить до зростання попиту на малопомітну символіку в одязі із збереженням незмінного символічного змісту. Тому доцільним є використання свастики та її варіацій для проектування такого одягу.

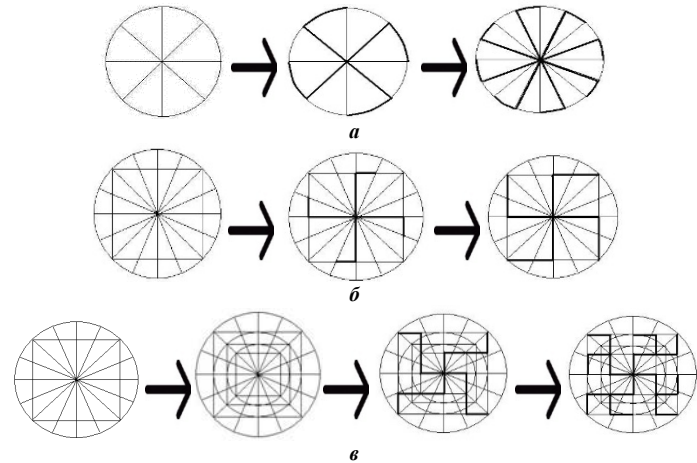


Рис. 2. Принципи та послідовність побудови геометрично вірної свастики за методом Гваськова-Дев'ятова: а – за допомогою кола, б – через коло та вписаний квадрат, в – шляхом поєднання складних свастичних символів

Аналіз наукової літератури дозволив виділити три методи побудови геометрично вірної свастики.

Першим методом є метод Гваськова-Дев'ятова (кругова система побудови) [8], в якому автор

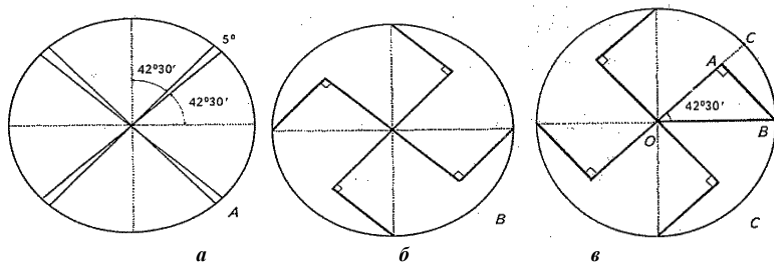


Рис. 3. Етапи утворення свастики на основі кола і принципів «золотого перерізу»: а, б – етапи побудови свастики; в – перевірка правильності побудови свастики

користується слов'янською круговою розрахунковою системою, де роль основи відіграє коло. Гваськов-Дев'ятов виконує побудову за допомогою кількох варіацій, кожна з яких використовує результат попередньої (рис. 2). Таким чином за допомогою рівномірного поділу кола з наступним вписуванням квадратів можна отримати геометрично вірну свастику без прикладання зайвих зусиль на протязі короткого часу.

Недоліком даної методики є

відсутність розрахункової частини за рахунок чого попередньо невідомо, яких розмірів буде мати отриманий в результаті знак. Другий відомий геометричний метод побудови свастики базується на принципі «золотого перерізу» на основі живопису стародавнього міста Аркаїм [9]. Автори методу опираються на результати досліджень спадщини стародавнього міста Аркаїм і використовують коло, як основу для побудови, до якого застосовується правило «золотого перерізу». Особливостями цього методу є поділ кола радіусами на вісім частин, на основі використання складних розрахунків, та утворення фігури подвійного хреста (рис. 3), що дозволило на проведених ліній зобразити свастичні символи. Проте недоліком є унеможливлення створення більш складних варіацій даного елемента.

Третій відомий метод побудови геометричної свастики використовує тесеракт [7–9], і заснований на використанні плаского зображення чотирьохвимірної гіперкуба (рис. 4).

При поєднанні кількох тесерактів утворюється сітка зі складним алгоритмом, грані якої є направляючими для побудови значної частини існуючих свастичних символів. Даний спосіб не є ефективним для широкого використання через свою надмірну складність виконання і можливий лише у електронному варіанті з використанням графічних редакторів.

На основі аналізу методик зроблено висновок, що вони не ефективні при проектуванні одягу з використанням свастики, оскільки не враховують особливості будови тіла, і тому актуальним завданням є розробка нового методу побудови широкополосної свастики для дизайн-проекування та оздоблення жіночого одягу.

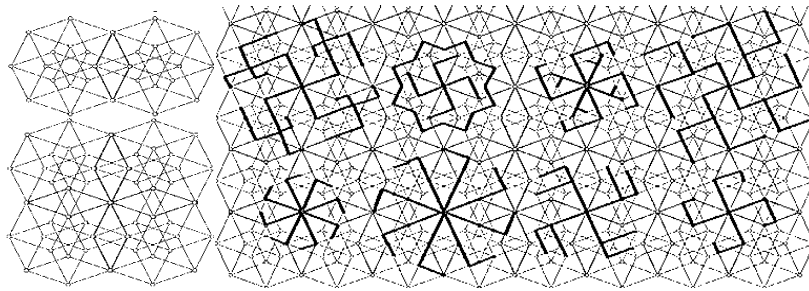
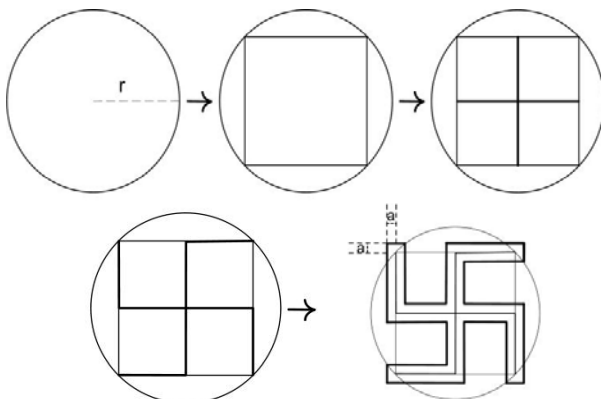


Рис. 4. Створення сітки з тесерактів та побудова свастичної символіки на її основі

Отримані результати. Врахувавши неоднозначне і суперечливе ставлення сучасного суспільства до даного символу, доцільно застосувати запропонований підхід, який базується на малопомітному накладанні елементів сварги на конструкцію виробу, до дизайн-проектування суконь. За основу взято конструкцію української додільної сорочки простого крою, в якій увага до сварги не концентрується, вона стає малопомітним елементом, її центр співпадає з горловиною, перші два її промені – з лінією талії, а другі – з розташуванням декору на рукавах. На основі проаналізованих методик, а саме методу Гваськова-Дев'ятова і методу побудови на основі кола і принципів «золотого перерізу», розроблено метод побудови загальної широкополосної свастики саме при проектуванні одягу і з врахуванням розташування конструктивних поясів тіла людини, зокрема лінії талії (рис. 5).



Запропонований метод базується на поєднанні першого і другого методів побудови свастики та передбачає побудову кола, в яке потім вписується квадрат. Для визначення параметрів кола і свастики використовують розмірні ознаки тіла людини. За умов використання правила «золотого перерізу» висота свастики становить $2/3$ діаметра кола, виходячи з другого метода, радіус кола, на базі якого будується широкополосна свастика, становить $3L/2$, рівняння котрої в загальних випадках може бути описано виразом 1:

$$L = (D_{тп1} + D_{тс1})/2, \quad (1)$$

де L – відстань від центральної точки горловини до талії, см;
 $D_{тп1}$ – розмірна ознака, відстань від точки основи ший збоку до лінії талії спереду, см;
 $D_{тс1}$ – розмірна ознака, відстань від точки основи ший збоку до лінії талії ззаду, см.

Отриманий квадрат надалі розділяють на чотири частини, при цьому утворюють своєрідний хрест – базовий символ української орнаменталії. Середні лінії квадрата слугують віссю свастики з обраним для неї напрямом, після чого будується широкополосна свастика з довільним значенням a , залежно від естетичних характеристик виробу. В подальшому отримана широкополосна свастика умовно «накладається» на конструкцію сукні з метою визначення в подальшому місць розташування конструктивних, конструктивно-декоративних та декоративних елементів (рис. 6).

За результатами практичного використання запропонованого методу для побудови конструкції сукні-оберегу і визначення місць розташування їх декору, виявлено окремі недоліки, які полягали в незначному не співпадінні положення променів свастики та лінії талії. Це зумовлено різницею між розмірними ознаками $D_{тп1}$ і $D_{тс1}$, в той час як сторони свастичного символу однакового розміру. Тому було внесено необхідні корективи в методику. Слід зазначати, що в остаточному варіанті запропонована методика передбачає зміщення центру елементу оберегу (т.А) на величину, яка визначається за виразом 2:

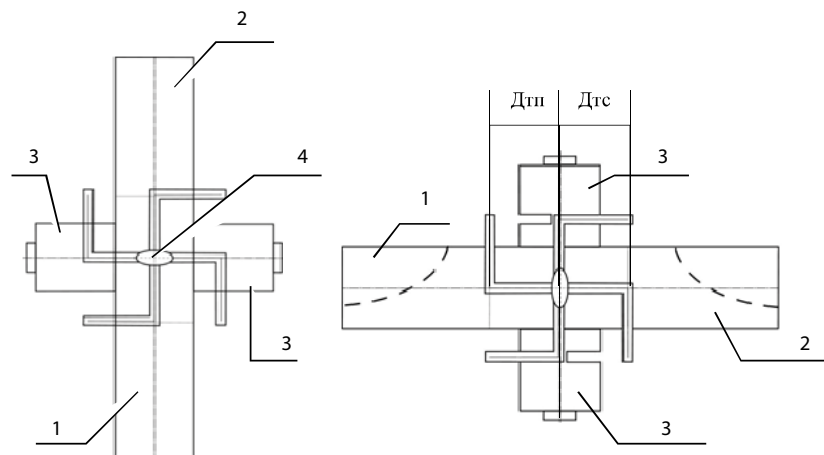


Рис. 6. Схема визначення основних конструктивних параметрів та місць розташування конструктивно-декоративних та декоративних елементів жіночої сукні-оберегу з використанням свастики перед, 2- спинка, 3- рукав, 4- горловина.

$$|A-A_1| = (D_{\text{тп1}} - D_{\text{тс1}})/2, \quad (2)$$

де $|A-A_1|$ – величина зміщення центру елемента оберегу відносно середньої лінії конструкції.

На основі запропонованого підходу до дизайн-проектування сукні-оберегу, нами розроблено нові творчі ескізи моделей колекції, що несуть сакральний зміст (рис. 7). Метод дозволяє визначати оптимальне положення конструктивних та конструктивно-декоративних ліній нових моделей.



Рис. 7. Творчі ескізи колекції суконь-оберегів

Висновки. В роботі запропоновано метод дизайн-проектування сучасних українських суконь-оберегів. В основу комбінаторного способу побудови креслень конструкцій деталей покладено використання розмірних ознак тіла людини для визначення відстаней між конструктивними лініями та уже існуючі геометричні методи побудови свастики. Таким чином можна добудувати елементи конструкції сукні до більш складних варіацій, що нестимуть у собі уже сакральний інформаційний зміст. Це надасть можливість використовувати запропоновану методику побудови свастики у подальшому проектуванні суконь-оберегів для визначення місць розташування функціональних, конструктивних, конструктивно-декоративних елементів та декору, які забезпечать їй функцію оберегу, не використовуючи при цьому свастику як самостійний елемент.

Література

1. Мартинова О. М. Національна ідентичність в практиці створення сучасного костюму / О. М. Мартинова, О. М. Лагода, К. М. Стеценко // Вісник ХДАДМ. – 2009. – С. 6.
2. Ніколаєва Т. А. Історія українського костюма / Т. А. Ніколаєва. – К. : Либідь, 1996. – 176 с.
3. Титар О. В. Сучасні проблеми національно-культурної ідентичності / Матеріали V Міжнар. наук.-практ. Конф. «Наука і соціальні проблеми суспільства: освіта, культура, духовність». – Х. : ХНПУ, 2008. – Ч. II. – С. 55–58.
4. Куксюк А. А. Аналіз та класифікація художньо-конструктивних елементів автентичних зразків українських жіночих вишитих сорочок / А. А. Куксюк, І. В. Васильєва // Вісник КНУТД, Серія «Технічні науки». – 2015. – № 3(86). – С. 263–272.
5. Гурська А. С. Мова та графіка українського орнаменту : навчально-методичний посібник / А. С. Гурська. – К. : Альтернативи, 2003. – 144 с.
6. Біляшівський М. Про український орнамент / М. Біляшівський // Записи Укр. наук. товариства в Києві / М. Біляшівський. – К., 1909. – Кн. 3.
7. Энергоинформационная археология [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://chediz.livejournal.com/893.html>.
8. Лекция Гваськова-Девятова [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://lektii.net/1-46026.html>.
9. Феномен Аркаима. Космологическая архитектура и историческая геодезия [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://coollib.com/b/117416/read>.

Рецензія/Peer review : 3.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 12.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Колосніченко М. В.

МЕТОДИКА ПІДБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ ВИШИВКИ З УРАХУВАННЯМ ДІЛЯНКИ ОЗДОБЛЕННЯ ДЕТАЛІ

Розроблено методику підбору раціональної щільності канви для геометричного виду орнаменту української національної вишивки хрестиком. Розроблено методику розрахунку кратної кількості повторів рапорту на ділянці оздоблення. Розроблено зведені таблиці вибору щільності канви з урахуванням параметрів рапорту.

Ключові слова: хрестоподібний елемент, раціональна щільність канви, рапорт, кратність повтору рапорту, ділянка оздоблення.

O.P. SYROTENKO, N.S. YATSIUK
Khmelnytsky National University

METHOD FOR SELECTION OF RATIONAL PARAMETERS OF THE NATIONAL EMBROIDERY DEPENDING ON PARAMETERS OF DECORATED AREAS

The article is dedicated to adjusting the geometrical ornamental pattern of the Ukrainian national counted cross stitch embroidery to the parameters of the garment design without losing the ergonomic conformity with the customer's figure. There has been developed the technique of selecting the rational density of the canvas. There has been developed the technique of calculating the number of rapps on the ornamental decoration area. There have been developed the summary tables of the canvas density selection taking into consideration the rapport parameters. The offered technique allows fast selection of the canvas for the certain set size of the rapport and defines the optimal variants of their combination among the offered ones. The selected variants allow to get the accurate concurrence of the beginning and the end of the ornamental design with the beginning and the end parts of the garment piece by means of the rapport repetition multiplicity and consequently to maintain the high aesthetic indicators of the ornamental decoration quality of the national hand embroidered garments.

Key words: counted cross element, rational canvas thickness, rapport, rapport repetition multiplicity, ornamental decoration area.

Вступ

Оздоблення сучасних швейних виробів ручною та машинною вишивкою є одним із найактуальніших способів декорування жіночого, чоловічого та дитячого одягу. Сьогодні оновлюється не лише техніка вишивання, перетворюючись з ручної на машинну, але й будова елементів та схем орнаменту вишивки, розширюється спектр зон її розташування в одязі різного асортименту. При використанні машинної техніки, якість вишивки забезпечується раціональним підбором величини хрестоподібного елемента (ХПЕ) для заданої ділянки оздоблення, яка може змінюватися із кроком 0,01 см.

Авторське виготовлення одягу в національному стилі створює передумови використання перш за все ручної вишивки, що вирізняється неповторним колоритом, автентичним забарвленням і тому здебільшого використовується у дороговартісних виробах святкового призначення, що вимагає забезпечення високого рівня якості вишивки на всій площині оздоблення.

Існує ряд проблем, пов'язаних з виконанням ручної вишивки. Про це свідчить наявність дефектів, пов'язаних з неспівпаданням частин орнаменту на суміжних деталях або на ділянках накладання (стику) деталей в готовому виробі. Не завжди правильним є вибір густоти заповнення площі вишивки, яка обумовлена щільністю канви та розмірами хрестоподібного елемента (ХПЕ), обраними для того чи іншого орнаменту. Особливо це важливо для дитячого одягу, де зменшені параметри деталей однозначно обумовлюють необхідність підбору менших розмірів ХПЕ та площі орнаментів для вишивання.

Відповідно, актуальною є необхідність корегування розмірів орнаменту національної вишивки відповідно до параметрів конструкції.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Основною тканиною для дитячих сорочок-вишиванок, обирають тканини, виготовлені з волокон природного походження. Це конопляні, лляні, шовкові, вовняні тканини, які можуть бути як фабричного виробництва (бавовна, перкаль, коленкор, батист, китайка, муслін, шовк) [1], так тканини домашнього виготовлення: лляні та бавовняні, які особливо підкреслюють автентичність виробів.

Тканини, які мають чітко виражену структуру полотняного переплетення, використовують в якості основи для вишивання. На тканинах, що мають дуже дрібну структуру переплетень, або з нечітко вираженим, дуже дрібним переплетенням ниток основи та утку, вишивку виконують на тимчасовій канві або на водорозчинній сітці. Деколи вишивку виконують на постійній канві, яка за товщиною близька до основної тканини, з чітко вираженим переплетенням необхідної щільності, яку потім настрочують на ділянки деталей [2, 3].

Виконання ручної вишивки технікою хрестик, дозволяє встановлювати чіткі параметри візерунку і окреслювати контури його елементів на різних ділянках оздоблення. Однак, мало вивченим залишається питання забезпечення якості переходу між елементами вишивки в місцях з'єднання, стику або накладання деталей, шляхом корегування параметрів орнаменту відповідно до параметрів конструкції та місця

розташування її елементів на деталях одягу.

На основі аналізу ряду досліджень, проведених [4–6] встановлено, що параметри вишивки обумовлені щільністю канви, розміром ХПЕ та їх кількістю в межах одного рапорту, а також кількістю повторів рапорту в межах ділянки оздоблення. Серед сукупності перерахованих показників корегуванню підлягають щільність канви та розмір ХПЕ. Підбір їхніх оптимальних параметрів дозволяє отримати вишивку високої якості, при якій початок та кінець рапорту співпадає з початком та кінцем ділянки оздоблення. Кількість ХПЕ в межах рапорту залежить від обраного візерунку і є сталою величиною, а кількість повторів рапорту в межах ділянки оздоблення залежить від варіацій щільності канви, розмірів ХПЕ та розмірів ділянки оздоблення.

Мета і завдання дослідження

З метою забезпечення естетичних показників якості оздоблення національного одягу ручною вишивкою та скорочення терміну підготовчих робіт, доцільною є розробка методики підбору раціональної щільності канви з підпорядкуванням орнаменту параметрам конструкції одягу без втрати ергономічної відповідності фігури споживача.

Виклад основного матеріалу

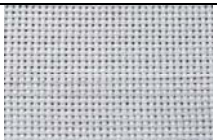
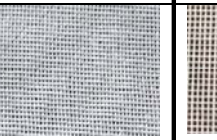
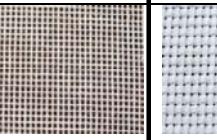
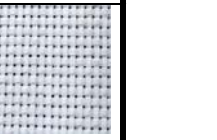
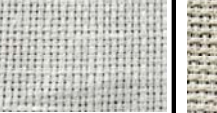
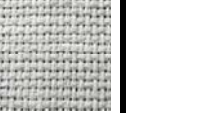
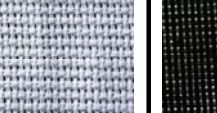
Підбір розмірів вишивки по відношенню до розмірів самої деталі, є важливим етапом вишивання, оскільки безпосередньо забезпечує естетичні показники якості – чіткість співпадіння початку та кінця орнаменту з початком та кінцем деталі. Особливо цей показник має значення при вишиванні деталей, частини яких дотикаються між собою (кінці коміра-стояка), або накладаються одна на одну на певній ділянці (кінці манжети рукава).

Розробка методики підбору раціональних параметрів щільності канви відносно параметрів орнаменту полягає у підборі такої щільності, яка дозволяє отримати кратну кількість повторів рапорту на заданій ділянці оздоблення. Для цього співставляють розміри ділянки конструкції, що підлягає декоруванню, з розмірами орнаменту, який накладається на неї. Параметри конструкції вимірюють на креслениках типових основ сорочок-вишиванок. Параметри орнаменту розраховують виходячи із кількості ХПЕ, які містяться на заданій ділянці оздоблення при вибраному виді канви та розмірі ХПЕ, яким планують виконувати вишивку.

Для дослідження сучасних видів канви для дитячих сорочок-вишиванок було обрано 15 зразків (табл. 1), для кожного з яких визначено щільність (кількість ХПЕ на 10 см полотна) по основі та утоку (табл. 2).

Таблиця 1

Фотографічне зображення сучасних видів канви

№ канви	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Зовнішній вигляд канви					
№ канви	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10
Зовнішній вигляд Канви					
№ канви	№ 11	№ 12	№ 13	№ 14	№ 15
Зовнішній вигляд канви					

Для кожного зразка канви було визначено l_x – величину базового (найменшого) ХПЕ, що займає 1 клітинку по основі та 1 клітинку по утоку. Відповідно кількість базових ХПЕ в 10 см канви відповідає її щільності. Діапазон варіюванню цього показника було розбито на три групи: малу (30-35 ХПЕ в 10 см), з $l_x=0,10-0,19$ см; середню (40-60 ХПЕ) з $l_x=0,20-0,29$ см; високу (60-100 ХПЕ) з $l_x=0,30-0,35$ см.

Базові розміри ХПЕ є вихідними (мінімальними) для певного виду канви і можуть бути збільшені у як по основі, так і по утоку, але не більше ніж до розміру 0,30 см, як рекомендують для вишиванок [6]. Це залежить від кількості ниток основи та утоку, на яких буде виконаний ХПЕ. Величина збільшення ХПЕ по відношенню до його базових розмірів характеризується коефіцієнтом масштабування n . Відповідно їх кількість в 10 см буде зменшуватися на величину n . В асортименті одягу цей показник варіюється в межах $n=1-3$ (рис. 2). При чому, чим вища щільність канви, тим більшим може бути показник $n=2-3$, і навпаки, для канви невисокої щільності рекомендують використовувати $n=1-2$.

Таблиця 2

Характеристика груп канви за лінійною щільністю базових ХПЕ

№ зразка канви	Назва канви	Щільність канви	Кількість базових ХПЕ на 10 см канви		Величина базового ХПЕ l_x , см		Номер зразка канви	Назва канви	Щільність канви	Кількість базових ХПЕ на 10 см канви		Величина базового ХПЕ l_x , см	
			по основі	по утоку	по основі	по утоку				по основі	по утоку	по основі	по утоку
3	Hardanger	висока	90	87	0,11	0,10	1,15	Aida 14	середня	53	54	0,20	0,2
13	Davosa 18		61	65	0,17	0,14	7	Floba 14		56	52	0,21	0,2
4	Davosa 22		70	68	0,15	0,15	10,14	Aida 11		52	43	0,20	0,24
6	Stramin		85	40	0,15	0,23	5,8	Hardanger		46	46	0,25	0,25
2,11	Aida 16	мала	61	60	0,17	0,17	9	Aida 8	мала	35	36	0,32	0,32
							12	Vienna		40	38	0,33	0,32

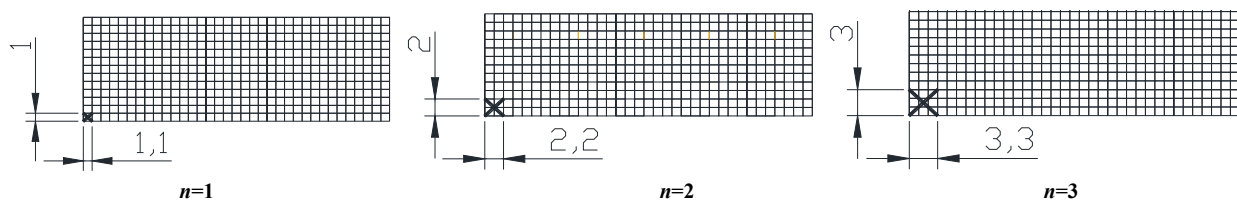


Рис. 1. Варіанти параметрів ХПЕ при різних значеннях коефіцієнту масштабування

Кількість ХПЕ на ділянці оздоблення розраховують, враховуючи базові розміри ХПЕ для кожного виду канви та розміри ділянок декорування конструкцій сорочок-вишиванок, за формулою:

$$k = \frac{B}{l_x \cdot n} \quad (1)$$

де k – кількість ХПЕ на ділянці оздоблення;

l_d – розміри ділянки оздоблення;

l_x – базові розміри ХПЕ;

n – коефіцієнт масштабування ХПЕ.

Враховуючи мікрозмірний діапазон варіювання зон оздоблення (по низу виробу – 2,0 см; по довжині коміра – 1,0 см; по довжині манжета – 0,5 см [7]) та базові розміри ХПЕ для кожної канви визначають допустиме відхилення їх кількості, в межах яких може корегуватися довжина візерунку на всій ділянці оздоблення. Допустиму кількість ХПЕ, які можуть входити в межі мікрозмірного інтервалу, розраховують за формулою:

$$\Delta k = \frac{\Delta}{l_x \cdot n} \quad (2)$$

де Δk – кількість ХПЕ на ділянці мікрозмірного інтервалу;

Δ – величина мікрозмірного інтервалу;

l_x – базові розміри ХПЕ.

Для кожної групи канви розраховано кількість ХПЕ на ділянці оздоблення та в межах мікрозмірного інтервалу (табл. 3) з урахуванням базових розмірів ХПЕ ($n=1$).

Таблиця 3

Характеристика кількості ХПЕ на ділянках декорування сорочки. Розмір 122-60-54 (фрагмент)

№ канви	Базові розміри ХПЕ, см	Ділянка декорування					
		низ виробу		комір		манжета	
		кількість ХПЕ, шт.	допустиме відхилення кількості ХПЕ $\pm \Delta$, шт.	кількість ХПЕ, шт.	допустиме відхилення кількості ХПЕ $\pm \Delta$, шт.	кількість ХПЕ, шт.	допустиме відхилення кількості ХПЕ $\pm \Delta$, шт.
		по утоку					
9,12	0,32	115	6	90	3	73	2
5,8	0,25	148	8	116	4	93	2
10,14	0,24	154	8	120	4	97	2
6	0,23	161	8	126	4	101	2
1,7,15	0,20	185	10	145	5	117	3
2,11	0,17	217	11	170	6	137	3
4	0,15	247	13	193	6	155	3
13	0,14	264	14	207	7	166	4
3	0,10	340	20	290	10	233	5

Для визначення коефіцієнта масштабування ХПЕ порівнюють висоту візерунку, розрахованого для

конкретного виду канви, з параметрами ділянки оздоблення. В маніжці, манжеті та комірі-стоякові висоту візерунку порівнюють з шириною цих деталей. Висоту візерунку розраховують за формулою (3):

$$lp^{\delta} = k \cdot lx, \quad (3)$$

де lp^{δ} – висота візерунку в межах 1 рапорту;
 k – кількість ХПЕ в рапорті по висоті;
 lx – базові розміри ХПЕ, мм;

Якщо в результаті перевірки встановлено, що висота візерунку, перевищує висоту ділянки декорування, то для неї виконують вибір канви меншої щільності і повторно перевіряють відповідність висоти візерунку розмірам деталі. Якщо висота візерунку вдвічі менша від параметрів деталі, то приймають $n=2$, якщо втричі – то приймають $n=3$.

При різній щільності канви та при різній величині хреста – розміри візерунку в межах одного рапорту будуть різними (рис. 2) [5–9]. Відповідно до обраного коефіцієнта масштабування їхню величину розраховують по основі та утоку за формулою:

$$lp = lp^{\delta} \cdot n, \quad (4)$$

де n – коефіцієнт масштабування ХПЕ.

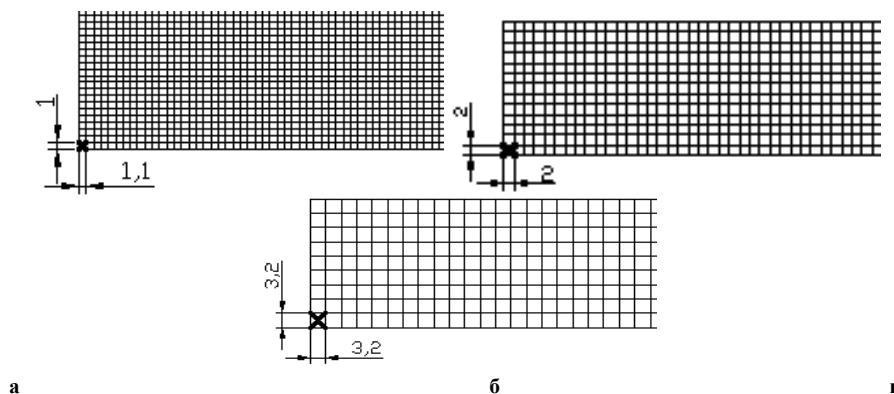


Рис. 2. Параметри ХПЕ на різних видах канви: а) канва № 3 ; б) канва № 1; в) канва № 9

Для визначення кратності повтору рапорту на всій ділянці оздоблення, визначають натуральні розміри орнаменту в межах одного рапорту:

$$lp = kp \cdot (lx \cdot n), \quad (5)$$

де lp – довжина візерунку в межах одного рапорту, см;
 kp – кількість ХПЕ в рапорті, шт.;
 lx – базові розміри ХПЕ, см.

Кратність повтору рапорту на ділянці оздоблення розраховують за формулою:

$$Kn = ld : lp, \quad (6)$$

де Kn – коефіцієнт кратності повтору рапорту;
 ld – розмір ділянки оздоблення, см;
 lp – розмір рапорту, см.

Для забезпечення чіткого співпадання початку та кінця орнаменту з межами ділянки оздоблення, коефіцієнт кратності повтору рапорту повинен дорівнювати цілому числу. Якщо при його розрахунку перше число після коми становить від 1 до 5, то значення кратності приймають рівним в сторону меншого цілого числа, а якщо від 6 до 9 – то рівним більшому цілому числу.

Враховуючи кількість ХПЕ, що знаходяться в межах рапорту та кратність його повтору розраховують кількість ХПЕ в орнаменті за формулою:

$$ko = Kn \cdot kp, \quad (7)$$

де ko – кількість ХПЕ в орнаменті, шт.;
 kp – кількість ХПЕ у рапорті, шт.

Визначають різницю між кількістю ХПЕ, що містяться на ділянці оздоблення деталі, та таких, що містяться на ділянці орнаменту ($k-ko$). Отриману величину порівнюють із допустимим відхиленням кількості ХПЕ, що лежать в межах міжрозмірного інтервалу. Якщо вона не перевищує допустиму межу $k-ko \leq \Delta k$, то підібраний рапорт вважається раціональним. В противному випадку обирають нову канву і повторно виконують розрахунки.

Зведена таблиця раціональних поєднань розмірів рапорту та виду канви (табл. 4) була розроблена з урахуванням розміру ділянки оздоблення, величини базового ХПЕ, кількості ХПЕ на ділянці оздоблення та в межах одного рапорту. При цьому зберігається головна умова – для всіх ділянок декорування обирають канву однакової щільності, що і дозволяє досягнути цілісності декорування виробу на різних ділянках оздоблення.

В представленій таблиці, у вигляді раціональних зон, виділено групи параметрів канви та розмірів рапорту, які є рекомендованими для різних розміро-зростів споживачів, що забезпечують співрозмірність орнаменту та розмірів деталей. Щільність канви є раціональною, якщо вона дозволяє отримати кратну

кількість повторів рапорту в межах заданої ділянки оздоблення одночасно на всіх деталях (по низу пілочки та спинки, на комір-стоякові, манжеті).

Таблиця 4

Зведена таблиця раціональних поєднань розмірів рапорту та виду канви (фрагмент)

Номер канви	Ділянка декорування																																				
	н	к	м	н	к	м	н	к	м	н	к	м	н	к	м	н	к	м	н	к	м	н	к	м	н	к	м	н	к	м	н	к	м	н	к	м	
	Розмір 122-60-54																																				
	Кількість ХПЕ в рапорті																																				
	10	12			14			15			16			17			18			20			22			24			26			28					
9,12	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	
5,8	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	-	
10,14	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	
6	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	
1,7,15	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	
2,11	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	
4	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-
13	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+
3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-

Примітка. 1. н – низ виробу; к – комір-стояк; м – манжета.

2. + кратність повтору рапорту рівна цілому числу; - кратність повтору рапорту не рівна цілому числу.

3. – варіанти поєднань, обрані для перевірки.

Враховуючи кратність повтору рапорту, рекомендовану для конкретного виду канви та розміру рапорту (див. табл. 4) розраховують натуральні розміри орнаменту на всій ділянці оздоблення, за формулою:

$$lv = Kn \cdot lp, \quad (8)$$

де lv – розміри візерунку в межах ділянки оздоблення, см;

lp – розміри візерунку в межах 1 рапорту, см.

Отримані дані порівнюють з натуральними розмірами ділянки оздоблення, що намічена на деталі і визначають величину їх розбіжності за формулою:

$$\Delta l = ld - lv, \quad (9)$$

де Δl – параметри коригування ділянки конструкції, см;

ld – розмір ділянки оздоблення, см.

Величина розбіжності не повинна перевищувати величину міжрозмірного інтервалу, $\Delta l \leq \Delta p$. В противному випадку необхідно змінити коефіцієнт масштабування ХПЕ або обрати канву іншої щільності, із рекомендованих, та виконати повторний розрахунок.

Якщо величина розбіжності знаходиться в межах міжрозмірного інтервалу, то конструкцію деталі коригують в залежності від розмірів орнаменту. На манжеті та комір коригування виконують лише з одного кінця деталі. В пілочці і спинці закладають половину розрахованої величини коригування по кожному бічному зрізу.

У випадку, якщо для даного виду рапорту перевірено усі рекомендовані види канви, але жодна з них не дозволяє отримати бажаний результат, то виконують вибір нового орнаменту та виконують розрахунки у відповідності до вище описаного алгоритму.

Таблиця 5

Етапи розрахунку величини корегування розміру деталі (манжета сорочки розміру 122-60-54)

Номер орнаменту та канви	Базові розміри ХПЕ lx , см	Кількість ХПЕ в рапорті kp , шт.	Коефіцієнт кратності повтору рапорту Kn , разів	Кількість ХПЕ на ділянці орнаменту ko , шт.	Розмір орнаменту lv , см	Розмір деталі ld , см	Величина коригування розміру деталі Δl , см
Орнамент №1 Канва №2, 11	0,17	14	10	$14 \cdot 10 = 140$	$140 \cdot 0,17 = 23,8$	23,3	$23,8 - 23,3 = 0,5$
Орнамент №2 Канва №10, 14	0,24	20	5	$20 \cdot 5 = 100$	$100 \cdot 0,24 = 24,0$	23,3	$24,0 - 23,3 = 0,7$

Перевірку доцільності застосування методики вибору варіантів поєднань розмірів рапорту та виду канви для заданого розміру деталі виконано на прикладі манжети розміру 122-60-54. Результати перевірки свідчать, що підібрана щільність канви забезпечує коригування параметрів конструкції на величину, що

лежить в межах допустимого мікрозмірного діапазону (табл. 5). Підбір розміру орнаменту та щільності канви є раціональним для заданих параметрів деталі, оскільки дозволяє отримати кратну кількість повтору рапорту в межах ділянки оздоблення (рис. 3).

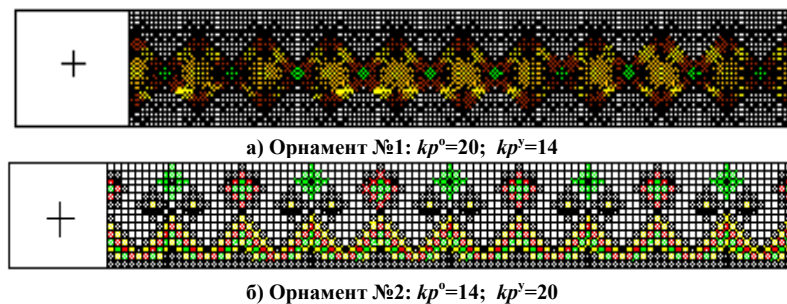


Рис. 3. Оптимальний вибір канви з урахуванням параметрів рапорту для оздоблення манжети:
а) канва №2, 11; б) канва №10, 14

Розроблена методика дозволяє швидко виконувати підбір канви для заданого розміру рапорту і визначати оптимальні варіанти їх поєднань серед ряду запропонованих. Обрані варіанти дозволяють отримувати чітке співпадання початку та кінця орнаменту з початком та кінцем деталі, за рахунок кратності повтору рапорту, і відповідно забезпечувати високу естетичну якість оздоблення одягу.

Висновки

Запропонована методика підбору раціональної щільності канви відносно розмірів орнаменту дозволяє скоротити час на виконання передпроектних робіт пов'язаних з узгодженням розмірів орнаменту з розмірами деталей та забезпечити якість візуального співпадіння візерунку на ділянках з'єднання, накладання та стику деталей одягу без втрати ергономічної відповідності параметрів виробу фігурі споживача. Методика може бути застосована при використанні різних видів орнаменту (геометричних, рослинних, зооморфних та ін.), які мають рапортну структуру та виконані технікою хрестик. Вона також може бути застосована для раціонального підбору канви щодо орнаментів сорочок-вишиванок для дорослих.

Література

1. Булгакова-Ситник Л. Подільська народна вишивка (етнографічний аспект) / Л. Булгакова-Ситник. – Львів : НАН України. Інститут народознавства, 2005. – 338 с.
2. Марусик Н. Буковинське вишиття і ткацтво. Знаки — символи : книга-альбом / Н. Марусик. – Київ – Чернівці, 2011. – 80 с.
3. Шандро М. Гуцульські вишивки / М. Шандро. – Клузь-Напока: Критеріон; Чернівці : Букрек, 2005. – 104 с.
4. Засорнова І.О. Визначення параметрів хрестоподібних стібків орнаментів вишивки українського національного одягу / І. О. Засорнова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 5. – С. 37–40.
5. Антонович Є.А. Декоративно-прикладне мистецтво / Антонович Є.А., Захарчук-Чугай Р.В., Станкевич М.Є. – Львів : Світ, 1993. – 272 с.
6. Засорнова І.О. Практичне використання методики створення і розміщення орнаментів вишивки на деталях швейних виробів / І.О. Засорнова, А.Л. Славінська // Технологія і матеріалознавство швейних виробів : збірник наук. праць. – Луганськ : СХУ ім. В. Даля, 2013. – С. 22–28.
7. ГОСТ 17917–86. Фигуры мальчиков типовые. Размерные признаки для проектирования одежды. – Введ. 01.01.87. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 131 с.

Рецензія/Peer review : 31.10.2016 р.

Надрукована/Printed : 13.12.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Славінська А.Л.

УДК 687.17+687.18

В.Л. ПОЛЄВОД, Н.В. ОСТАПЕНКО, А.І. РУБАНКА, Н.Д. КРЕДЕНЕЦЬ

Київський національний університет технологій та дизайну

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ЗАХИСНОМУ ОДЯЗІ

У статті розроблено класифікацію різновидів вентиляційних елементів у захисному одязі за різними критеріями. Запропоновано угруповання вентиляційних елементів за асортиментом, зонами розміщення, ступенем регулювання, формою тощо. На основі методу системного аналізу розроблено класифікацію вентиляційних елементів за різними зонами розміщення. Теоретичні дослідження базуються на основних положеннях технології виготовлення одягу. Розкрито конструктивні і технологічні особливості виготовлення вентиляційних отворів. Розглянуто використання високотехнологічних матеріалів та різноманітних технологій створення вентиляції в одязі спеціального призначення. Запропоновано підхід до формування інформаційної бази вентиляційних елементів у захисному одязі та їх конструктивно-технологічних характеристик.

Ключові слова: вентиляційні елементи, захисний одяг, класифікація.

V.L. POLEVOD, N.V. OSTAPENKO, A.I. RUBANKA, N.D. KREDENETS

Kyiv National University of Technologies and Design

SYSTEMATIZATION OF VENTILATION ELEMENTS IN PROTECTIVE CLOTHING

The article develops a classification of types of ventilation elements in the protective clothing according to different criteria. Examines the factors that impact on human activity: environmental conditions (air temperature, wind speed, pressure, precipitation), the operating conditions of clothes, the choice of package materials (main and auxiliary), the choice of furniture (metal, plastic, textile). The grouping of the ventilation elements assortment, placement zones, the degree of regulation, shape and other. Based on the method of system analysis to develop a classification of the ventilation elements with different placement zones. Theoretical studies based on the main provisions of the technology for the manufacture of clothing. Disclosed constructive and technological features of manufacture of ventilation holes. The article discusses the use of high-tech materials and a variety of technologies for creating ventilation in clothing for special purposes. The proposed approach to formation of information base of the ventilation elements in protective clothing.

Keywords: ventilation elements, protective clothing, classification

Постановка проблеми. Важливою функцією захисного одягу є збереження високої працездатності людини в умовах дії небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Мікроклімат одягу формується з мікроклімату підодягового простору, комфорту фізичного відчуття одягу і його властивостей, що забезпечують взаємодію людини з оточуючим середовищем. Комфортний мікроклімат підодягового простору забезпечується в тому числі завдяки використанню вентиляційних елементів. Недостатність і розпорошеність матеріалів з цього напрямку відповідним чином пояснює відсутність наукових публікацій і вказує на необхідність формування інформаційної бази вентиляційних елементів у захисному одязі та вивчення їх конструктивно-технологічних особливостей. Тому, узагальнена систематизація існуючих різновидів вентиляційних елементів у захисному одязі з метою формування інформаційної бази і розширення їх асортименту, є актуальним завданням.

Формулювання цілі статті. Формуванні інформаційної бази вентиляційних елементів захисного одягу шляхом систематизації різновидів означених деталей, вивчення їх конструктивних і технологічних особливостей.

Виклад основного матеріалу. Умови експлуатації в процесі проектування захисного одягу є визначальним фактором у виборі матеріалів і розробці конструктивно-технологічного рішення моделі. Формування раціональних пакетів матеріалів, підбір фурнітури, ниток, вибір місця, форми, кількості вентиляційних елементів здійснюється в залежності від видів небезпек, інтенсивності, повторюваності, топографії впливу небезпечних і шкідливих чинників тощо.

Вентиляційні елементи доповнюють гігієнічні властивості пакету матеріалів завдяки регулюванню повітрообміну, що здійснюється за рахунок різниці температур повітря підкостюмного простору і оточуючого зовнішнього середовища.

Відомо, що одяг впливає на процеси теплообміну організму людини із зовнішнім середовищем та забезпечує нормальну терморегуляцію організму людини. Гігієнічні показники підодягового простору, що створюються одягом, значно відрізняються від показників зовнішнього середовища і характеризується більш постійною температурою, низькою відносною вологістю та слабким рухом повітря [1].

Фізичні перевантаження працівників при виконанні ними професійно-кваліфікаційної діяльності, завелика маса одягу, ергономічна невідповідність виробів характерним рухам і позам людини тощо спричиняють порушення теплового балансу. Крім того, вироби із синтетичних матеріалів, штучної шкіри і замши, матеріали з плівковим, гумовим, полівінілхлоридним, металізованим тощо покриттям, неткані матеріали потребують використання елементів для забезпечення повітрообміну, а саме відлітних деталей, перфорованих сіток, отворів тощо.

Слід зазначити, що інтенсивне теплове випромінювання має місце у металургійних комбінатах, ливарних, ковальсько-пресових цехах, склозаводах, у цехах харчової промисловості, паперовому виробництві, у глибоких шахтах, в сільськогосподарському виробництві в гарячу пору року тощо. В умовах утрудненого теплообміну відбувається розширення периферичних судин, посилення кровообігу та

збільшення потовиділення; зростає теплопродукція організму, що призводить до явища теплового перегрівання – гіпертермії.

З огляду на це, використання вентиляційних елементів спрямоване на забезпечення нормального повітро-, теплообміну організму людини з навколишнім середовищем, оптимального рівня температури тіла, вологості та дихання шкіри та дозволяє зменшити перегрівання організму при збільшенні рівня його енерговитрат і збільшенні температури навколишнього середовища.

Серед існуючого асортименту одягу, головних уборів, взуття, рукавичних та панчішних виробів захисного, спортивного, воєнного призначення тощо, нами проаналізовано, виокремлено та систематизовано різновиди вентиляційних елементів за різними ознаками (отвори, системи, охолоджувальні елементи тощо), виявлено їх конструктивні особливості. Використання вентиляційних елементів у захисному одязі передбачається як в плечових, так і в поясних виробках, а саме в комбінезонах, жилетах, куртках, сорочках, фуфайках, плащах, напівкомбінезонах, накидках, штанах, шортах тощо. Асортимент вентиляційних елементів у головних уборах, рукавичних та панчішних виробках, взутті також доволі різноманітний та маловивчений і потребує окремих досліджень.

На основі проведених аналітичних досліджень нами узагальнено і систематизовано різновиди вентиляційних елементів у захисному одязі за різними класифікаційними угрупованнями (рис. 1).

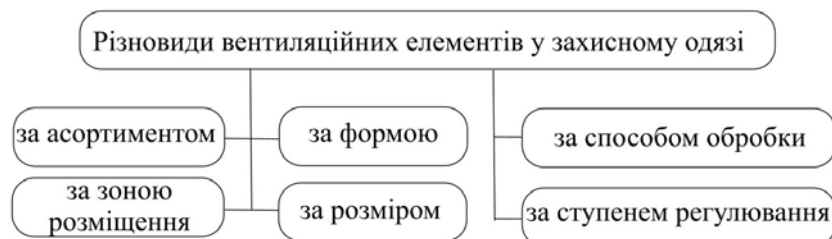


Рис. 1. Узагальнена систематизація різновидів вентиляційних елементів у захисному одязі

Вибір місця розміщення того чи іншого вентиляційного елементу визначається топографією потовиділень, а також тим «вентиляційним» ефектом, який може бути досягнутий в конкретних умовах експлуатації одягу (наприклад, при ходьбі, нахилах тулуба і т.д.). Оскільки інтенсивність потовиділень у різних зонах поверхні тіла людини різна, до зон сильної та помірної інтенсивності потовиділень відносять підпахвові западини, область грудей, між лопатками, поперекову область, зап'ястя і кисті рук, лоб, передню частину шиї, пахову та підколінну області [1].

Тому, за місцем розміщення у виробках відомими є вентиляційні елементи у зоні лопаток, грудей, стегон, поперекової та підпахвовій зонах тощо. Нами запропонована класифікація вентиляційних елементів за зонами їх розміщення в плечових та поясних виробках, яка показана на рис. 2.

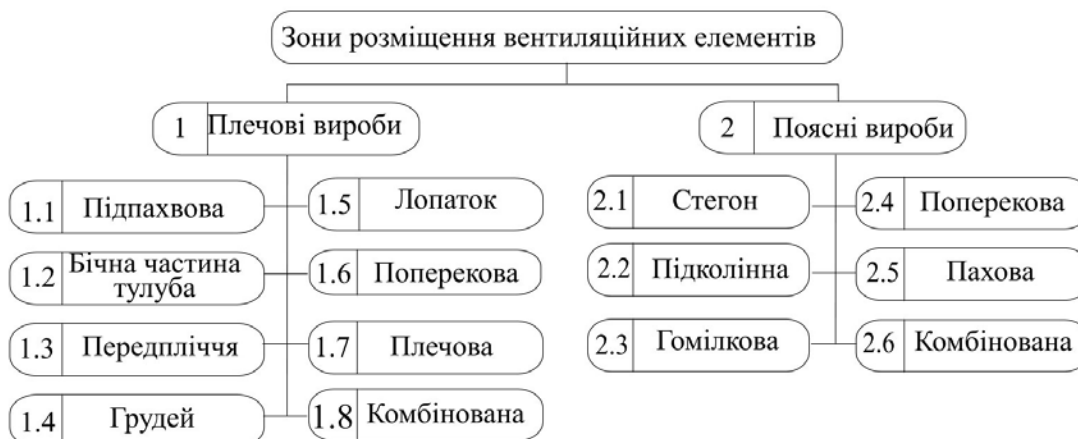


Рис. 2. Класифікація різновидів вентиляційних елементів за зонами розміщення у захисному одязі

Вентиляція підодягового простору, що здійснюється за рахунок перепаду температур повітря під одягом і навколишнього середовища, рухів людини, змін швидкості вітру, необхідна для посилення теплообміну організму при фізичній діяльності та видалення продуктів газообміну організму через шкіру. Тому, як в плечовому, так і в поясному одязі використовують вентиляційні елементи, які сприяють відведенню надмірної вологи та температури з підодягового простору, і, як наслідок, нормальній регуляції температури тіла людини, а також перешкоджають розповсюдженню на його поверхні продуктів розпаду поту.

Способи обробки вентиляційних елементів різняться залежно від призначення і асортименту

захисного одягу, умов його експлуатації, місця розташування, форми, розміру тощо. Найчастіше вентиляційні отвори розміщують в швах, зокрема рельєфних (рис. 3, а), бічних (рис. 3, е, л), рукавно-бічних (рис. 3, д), рукавних (рис. 3, в), крокових, проймах рукавів тощо. Обробку зрізів отворів виконують нитковим способом, зокрема їх обметуванням (рис. 3, м), обшиванням (рис. 3, д-е); зварним, методом лазерної різки (рис. 3, н). Конструктивно отвори можуть бути відлітними (рис. 3, б, г), із застосуванням перфорованого матеріалу (рис. 3, д, е, л) тощо. Крім того, розповсюдженими є отвори, зрізи яких оброблено металічною чи пластиковою фурнітурою (рис. 3, д-к). Вибір неякісної металевої фурнітури, зазвичай, після вологих обробок призводить до іржавих плям і розводів на одязі.

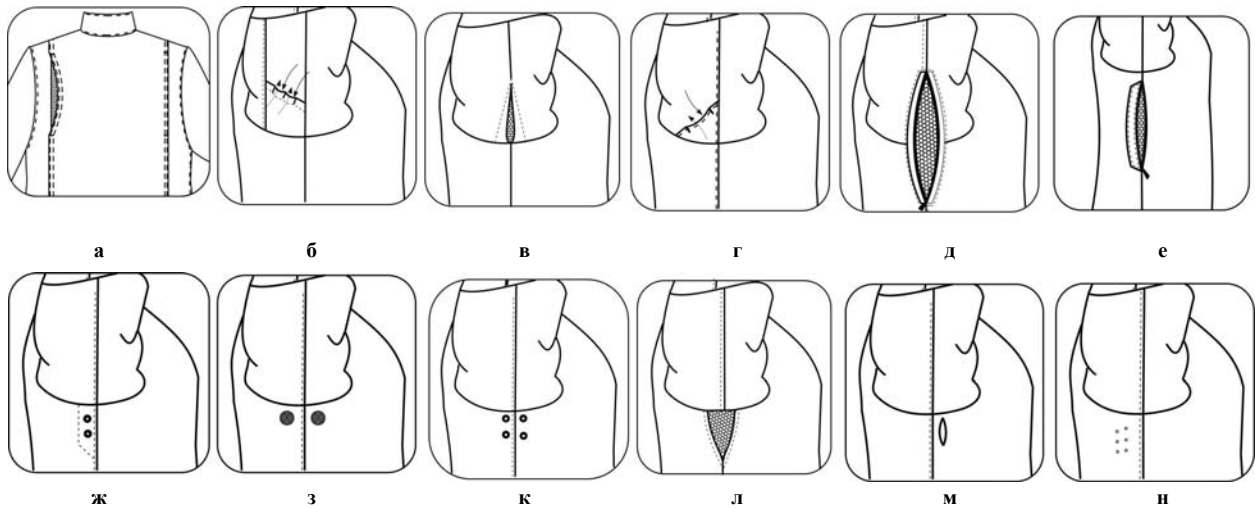


Рис. 3. Приклади різновидів підпахових вентиляційних елементів

Як правило, життя людини проходить при більш низьких температурах зовнішнього середовища, ніж температура тіла, що забезпечує розсіювання метаболічного тепла. Це є однією з умов підтримки теплової рівноваги. Захисний одяг створює навкруги тіла відносно постійну температуру та вологість повітря, які змінюються в невеликих межах.

Працівник повинен мати можливість здійснювати регулювання температури повітря підодягового простору за допомогою використання різноманітної фурнітури в конструкції вентиляційних елементів. До них належать застіжки-блискавки (рис. 4, а-к), текстильні застіжки, кнопки тощо. Вентиляційні елементи на застіжку-блискавку мають вигляд кишень з клапаном (рис. 4, а), листочкою (рис. 4, б, д, е, з) або у рамку (рис. 4, в, ж, к).

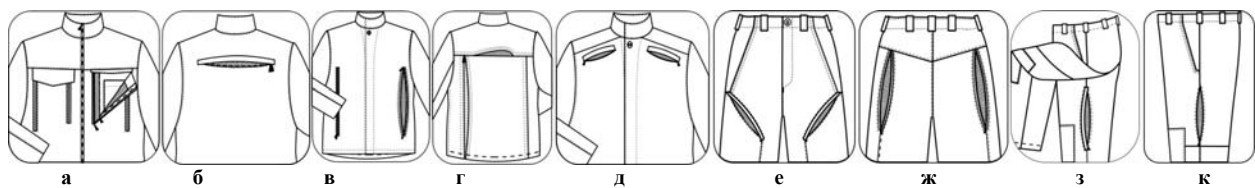


Рис. 4. Приклади різновидів вентиляційних елементів із функцією ступеня регулювання

Комфортні умови підодягового простору досягаються завдяки введенню в конструкцію щілеподібних вентиляційних елементів, місце розміщення яких визначається специфікою професії та діяльністю працівника. Так, наприклад, для уникнення потрапляння бризок розплавленого металу при зварювальних роботах, пилу при переробці деревини, заготівлі зерна тощо щілеподібні вентиляційні елементи розташовують на спинці (рис. 5, а, б), у виробках для будівельників найчастіше – у бічному та рукавно-бічному швах (рис. 5, в-д), в куртках для мотоциклістів широко розповсюджені щілеподібні вентиляційні елементи на пілочках та рукавах (рис. 5, е-з).

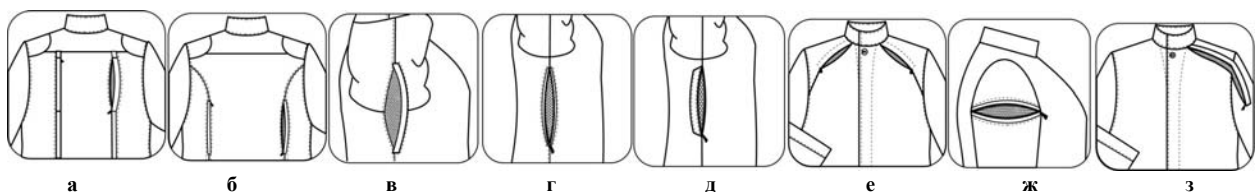


Рис. 5. Приклади щілеподібних вентиляційних елементів розміщених у різних зонах виробів

Кількість, розміри, форма, місце розміщення вентиляційних елементів залежать від необхідної

витрати теплоенергії працівником при виконанні ним професійної діяльності за умов впливу різних видів небезпек навколишнього середовища. Рациональне розміщення блочків у виробках сприяє підвищенню працездатності людини і покращенню переносимості фізичного навантаження. Блочки – фасонні втулки, які мають вінчик з одного боку і призначені для зміцнення країв отворів швейних, шкіргалантерейних та взуттєвих виробів [3]. Вони можуть виготовлятися із різних матеріалів (сплавів металу, пластику), мати круглу або овальну форму і різноманітні розміри в залежності від виробу та місця розташування елементів. Так, наприклад, у підпахвовій зоні блочки можуть розташовуватись вздовж рукавно-бічного шва на пілочках (рис. 6, а), пілочках та спинці (рис. 6, в, д, ж), пілочках, спинці та рукавах (рис. 6, б, е), вздовж шва вшивання рукава (рис. 6, ж) в кількості трьох (рис. 6, а, е), чотирьох (рис. 6, б, д, ж) чи п'яти (рис. 6, в) одиниць тощо. Крім того, можливе розташування різної кількості блочків на кокетці спинки (рис. 6, г, з). Приклади їх розміщення показано на рис. 6.

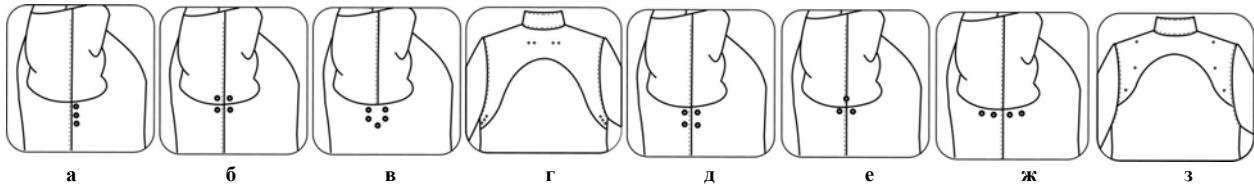


Рис. 6. Приклади розташування блочків у плечовому одязі

Для покращення вентиляції підкостюмного простору використовують деталі з перфорованого матеріалу, що мають різні форми: щілеподібні (рис. 7, в, д), круглі, ромбовидні (рис. 7, б), овальні, квадратні та прямокутні (рис. 7, а), трикутні (рис. 7, е), комбіновані (рис. 7, г).

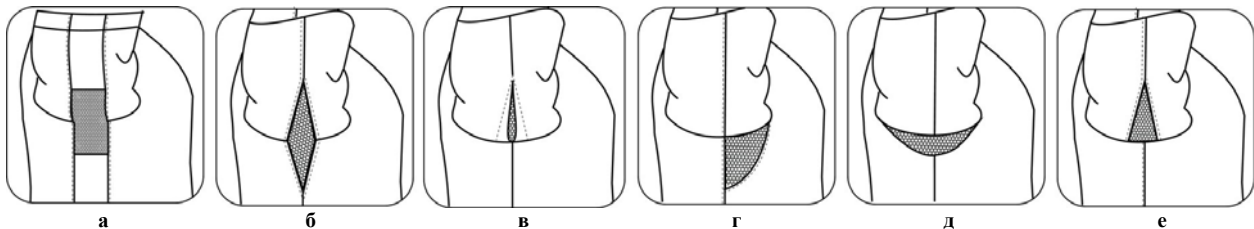


Рис. 7. Приклади різновидів форм вентиляційних елементів з використанням перфорованого матеріалу

За умов оточуючого середовища під впливом тепла і холоду у людини змінюються кровопостачання шкіри і підшкірної клітковини, їх температура, а також температура венозної крові, що є головною причиною появи відчуттів теплового дискомфорту [4].

Тому, з метою покращення теплообміну в області спини та тулуба використовують відлітні кокетки. Так, наприклад їх використання в захисному плечовому одязі є поширеним для зварювальників тощо. Конструкція виробу повинна запобігати проникненню пилу в підодяговий простір, тому широко розповсюджене використання перфорованого матеріалу під кокеткою. Відлітні кокетки можуть з'єднуватись з виробом текстильною застібкою (рис. 8, а) чи закріпками (рис. 8, б – д).

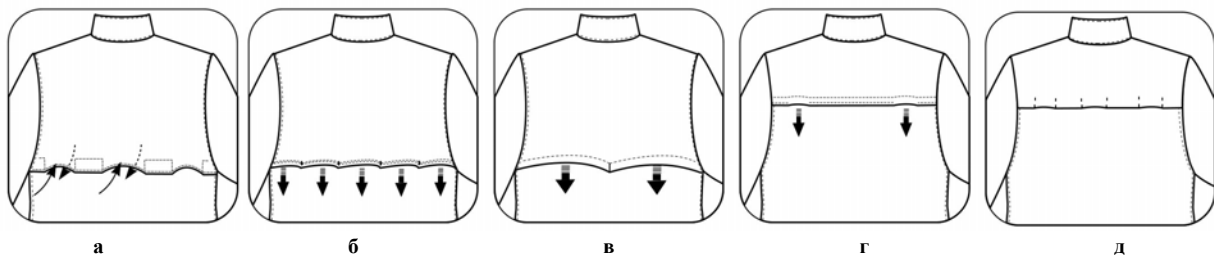


Рис. 8. Приклади різновидів відлітних кокеток у захисному одязі

Тепловий комфортний стан людини значною мірою залежить від спроможності пакета матеріалів забезпечити виведення залишків пароподібної та крапельно-рідкої вологи з підодягового шару, тому застосування новітніх матеріалів, виготовлених за провідними технологіями, сприяє створенню легкого комфортного одягу, який має «дихальну активність» [5], забезпечує потрібні теплозахисні властивості на різних ділянках тіла людини та не перешкоджає працівнику вільно рухатися за умов фізичного навантаження. Для виготовлення захисного одягу використовують нові, високотехнологічні матеріали як для основних тканин верху, так і для допоміжних нетканних матеріалів. Наприклад, при створенні матеріалу застосовують надзвичайно тонкі мікроволокна, кожне з яких у 50–70 разів тонше за людський волос, їх використання дозволяє зі зменшенням товщини волокон суттєво збільшити сумарну площину поверхні волокон, що утримують повітря (на одиницю об'єму). Також американські дослідники розробили вставки, зроблені з «живого матеріалу» (бактерій), які в залежності від вмісту вологи в навколишньому середовищі

змінюють свій стан, тобто при низькій температурі вставка розширюється і стягується при високій (рис. 9, а). В спортивному одязі використовують різноманітні технології для створення нових конструкцій систем вентиляції, наприклад, лазерну різку. За допомогою спеціальної техніки, пробиваються отвори різних розмірів, що дозволяє зробити одяг більш дихаючим, не розсіюючи зайвого тепла (рис. 9, б).

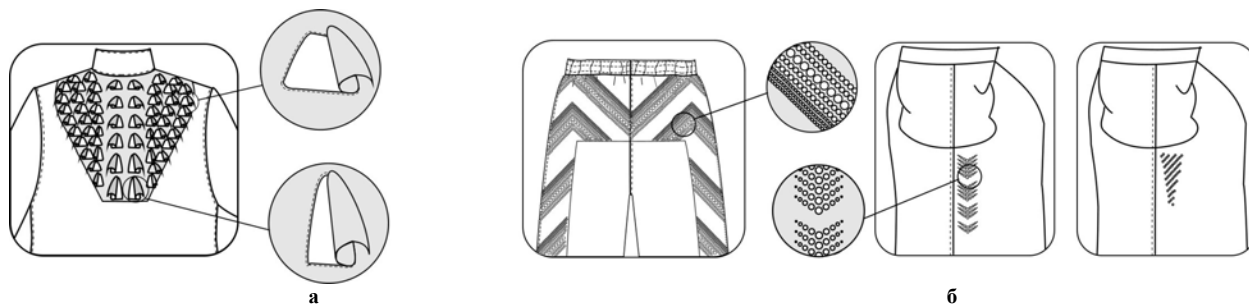


Рис. 9. Приклади різновидів високотехнологічних матеріалів (а) та технік створення систем вентиляції (б) для виготовлення одягу захисного призначення

Висновки. При розробці конструктивно-технологічних рішень вентиляційних елементів в кожній конкретній проектній ситуації слід враховувати всю інформацію про призначення захисного одягу і галузь виробництва. Аналіз існуючих різновидів вентиляційних елементів у одязі захисного призначення дозволив виявити їх конструктивні і технологічні особливості.

Запропонована нами узагальнена систематизація різновидів вентиляційних елементів захисного одягу за різними класифікаційними угрупованнями направлена на формування інформаційної бази цих елементів, а також їх конструктивних і технологічних характеристик з можливістю розширення асортименту.

Література

1. Кокеткин П.П. Промышленное проектирование специальной одежды / П.П. Кокеткин, З.С. Чубарова, Р.Ф. Афанасьева. – М. : Лег. и пищ. пром-сть, 1982. – 183 с.
2. Куликов Б. П. Гигиена, комфортность и безопасность одежды : учеб. пособие / Б. П. Куликов, Н. А. Сахарова, Ю. А. Костин. – Иваново : ИГТА, 2006. – 256 с.
3. Складников В.П. Гигиеническая оценка материалов для одежды / В.П. Складников, Р.Ф. Афанасьева, Е.Н. Машкова. – М. : Легпромбытиздат, 1985. – 144 с.
4. Металлофурнитура, пластиковая фурнитура. Фастексы [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://tatemplus.by/metallofurnitura-plastikovaya-furnitura/fasteksy>
5. Рубанка А.І. Класифікація різновидів накладок у спеціальному одязі / А.І. Рубанка, О.В. Колосніченко, Н.В. Остапенко // Легка промисловість. – 2015. – № 4. – С. 7–11.
6. Терешкевич Н.А. Одяг спеціального призначення: формування асортименту та екологічної безпечності / Н.А. Терешкевич, Л.Г. Ніколайчук // Вісник хмельницького національного університету. – 2011. – № 5. – С. 70–73.

Рецензія/Peer review : 28.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 13.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор, Колосніченко М.В.

УДК [687.4.016:7.012](043.3)

О.С. ВАСИЛЬЄВА, М.В. КОЛОСНІЧЕНКО, І.В. ВАСИЛЬЄВА, Є.П. ГУЛА

Київський національний університет технологій та дизайну

РОЗРОБКА МЕТОДУ ПОБУДОВИ НУЛЬОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ШИТИХ ГОЛОВНИХ УБОРІВ

У статті представлено розробку методу адресної побудови нульових конструкцій шитих головних уборів. Розроблено класифікацію об'ємно-просторових форм голови людини. Визначено допоміжні точки для побудови нульових конструкцій шитих головних уборів на базі конструкції з чотирьох клинів.

Ключові слова: дизайн, антропометрична відповідність, просторова форма голови людини.

O.S. VASILYEVA, M.V. KOLOSNIChENKO, I.V. VASILYEVA, E.P. GULA

Kiev National University of Technologies and Design

DEVELOPMENT OF METHODS FOR DESIGNING HATS

At article presents the design method of building targeted zero designs embroidered hats. Classification of three-dimensional forms of the human head. Determined auxiliary point for building basic designs sewn hats based on the design of the four wedges.

Keywords: design, construction, anthropometric base, stages of designing, hats.

Вступ

Сучасне промислове виробництво бурхливо розвивається та комп'ютеризується. Високий попит на одяг, а саме на головні убори визначає та завдає вимоги, що пов'язані, головним чином, з попитом та виробництвом. Діяльність виробництв на сьогодні проходить в умовах високої конкуренції, складності виробничих процесів, зв'язків та обмеженості ресурсів, але високими вимогами споживачів щодо якості виробів. За вимогами сучасного ринку товарів легкої промисловості більшість підприємств переходять до нової форми організації виробництва, а саме «адресного» проектування, що є на сьогодні одним з актуальних напрямів. Удосконалення процесу проектування головних уборів вимагає не лише удосконалених інформаційних баз даних але й розробку та вдосконалення методик побудови точних конструкцій виробів, що відповідали б потребам споживача у гарній посадці та ергономічності. Саме такі підходи дозволяють забезпечити високу якість виробів.

Експериментальна частина

Сучасне промислове виготовлення головних уборів розробляє вироби на стандартний тип голови людини, що за формою наближена до півсфери. Проведені антропометричні дослідження [1] дали змогу визначити 8 поширених типів просторових форм опорної поверхні голови людини (рис. 1).

Проведені дослідження показали, що існує 8 поширених типів голів [1, 2], один з яких відповідає по формі сучасному типовому еталону (тип ОСС), що існує сьогодні на виробництві. Для реалізації поставлених завдань, нами побудовано півсферу, де т. 0 – початок координаті центр сфери, т. V – полюс; точки G, Eu і Op розташовані на екваторі (рис. 2).

Поверхню півсфери, що розглядається як модель опорної поверхні ідеальної голови людини, розділено по меридіанам на чотири рівні частини, що відповідає конструктивному устрою базовій конструкції ГУ з чотирьох клинів, яка щільно облягає голову (рис. 2).

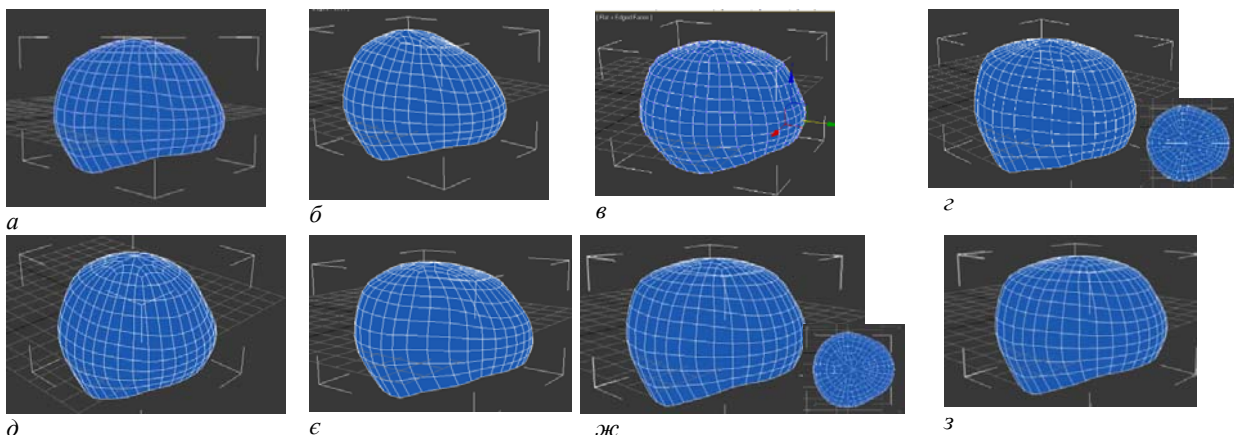


Рис. 1. Типи опорних поверхонь голови людини

a – орбікулокран, еліпсоїдна потилична (ОЕП) тип, *б* – орбікулокран, еліпсоїдна, симетричний (ОЕС) тип, *в* – лофокран, еліпсоїдна, симетричний ЛЕС тип, *г* – лофокран, сфероїдна, симетрична (ЛСС) тип, *д* – орбікулокран, сфероїдна симетрична (ОСС) тип, *е* – орбікулокран, пентагоїдна, потилична (ОПП) тип, *ж* – орбікулокран, пентагоїдна симетрична (ОПС) тип, *з* – орбікулокран, овоїдна, симетрична (ООС) тип

Виміри півсфери відповідають таким [3] положенням: висота голови $B_{\text{гол}}$ дорівнює відстані від початку координат точки O до точки V , що знаходиться на вісі ординат, а $B_{\text{гол}} = R$. Поперечний діаметр $D_{\text{пр}}$ (відрізок $Eu-Eu'$) та повздовжний діаметр $D_{\text{п}}$ (відрізок $G-Op$) дорівнюють один одному $D_{\text{пр}} = D_{\text{п}} = 2R$. Дуги поперечна $D_{\text{пр}}$ ($Eu-V-Eu$), повздовжня $D_{\text{п}}$ ($G-V-Op$) та пів обхват голови $C_{\text{гол}}$ – рівні між собою $D_{\text{пр}} = D_{\text{п}} = C_{\text{гол}} = \frac{\pi}{2}$.

У відповідності з антропометричними даними отримано чотири полярні сферичні рівносторонні трикутники $\Delta GVEu$ та $\Delta GVEu'$ (лобна частина) і $\Delta EuVOp$ та $\Delta Eu'VOp$ (потилична частина) (рис. 3). Приймаючи до уваги, що сферичні полярні трикутники у даному випадку рівні, розглянемо принципи отримання розгортки на прикладі трикутника $\Delta GVEu$.

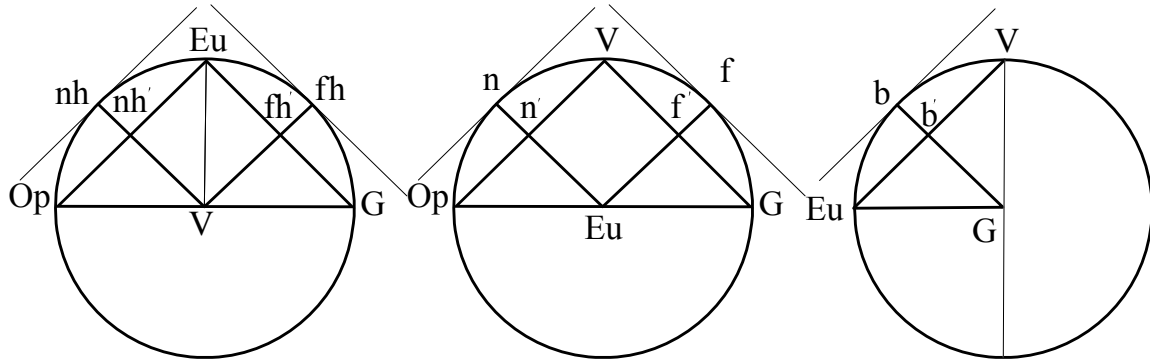


Рис. 2. Схема поділу півсфери

Розгортка півсфери здійснюється у три етапи: 1) розрахунок та побудова сторін допоміжного трикутника $\Delta GVEu$, який вписано у сферичний трикутник $\Delta GVEu$ (рис. 4); 2) розрахунок довжини сторін та кутів розгортки трикутника; 3) розрахунок кривини сторін та побудова розгортки сферичного трикутника. Для розрахунку та побудови були використанні принципи евклідової та сферичної геометрії і отриманні дослідним шляхом дані.

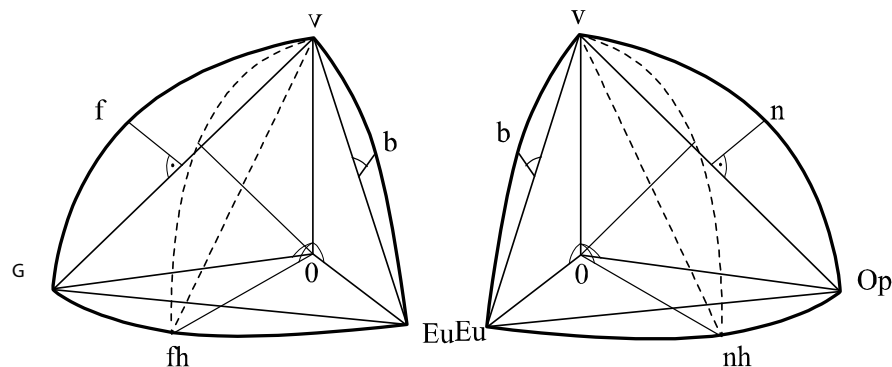


Рис. 3. Схема трикутників $\Delta GVEu$ та $\Delta EuVOp$ лобної та потиличної частин ідеальної моделі голови людини (тип OCC)

На основі експериментальних розгорток півсфери, які отримано муляжним методом, та визначення довжини дуги, градусна міра якої дорівнює 90° , визначено відповідна їй довжина хорди – сторона допоміжного трикутника $\Delta GVEu$, що визначається за виразом.

$$|GV| = |GEu| = |EuV| = \frac{R \cdot (\pi + 2\sqrt{2})}{4} \quad (1)$$

Другим етапом побудови є визначення довжини сторін конструкції, що дорівнюють сторонам сферичного трикутника $\Delta GVEu$. Сторони сферичного трикутника дорівнюють таким розмірним ознакам: $|G-f-V| = |V-b-Eu| = D_{\text{п}}/2$, $|G-fh-Eu| = O_{\text{гол}}/4$. Враховуючи вихідні умови голови людини типу OCC, маємо $|G-f-V| = |V-b-Eu| = |G-fh-Eu| = D_{\text{п}}/2 = O_{\text{гол}}/4$. На третьому етапі побудови розраховуємо кривину дуг. На основі результатів проведених досліджень в антропометричну точкову систему було додано допоміжні точки f , b , fh , положення яких характеризує кривину абрисів голови в трьох проекціях. На сферичному полярному трикутнику вони знаходяться по середині сторін $G-V$, $V-Eu$ та $Eu-G$, і відповідно по середині сторін допоміжного трикутника $\Delta GVEu$. З його верхівок проводимо відрізки $V-fh' = G-b' = Eu-f'$ та визначаємо довжини відрізків $V-fh$, $G-b$ та $Eu-f$, а також положення на кресленні допоміжних точок f , b і fh . Приймаючи

до уваги необхідність сполучення кутів визначаємо, що кути $\angle VGEu = \angle GEuV = \angle EuVG \approx 90^\circ$. Побудовуємо кути трикутника, проводячи бісектриси з вершин кутів і рівномірно відкладаючи 45° у кожен бік від бісектриси.

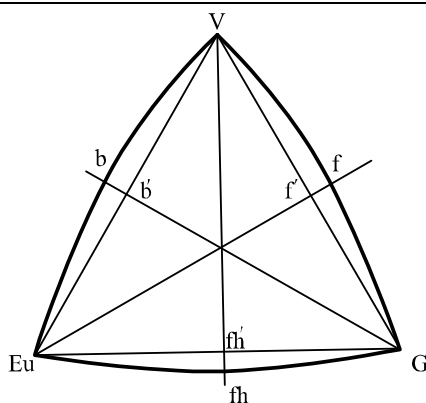


Рис. 4. Схема побудови клина нульової розгортки ідеальної голови (тип OCC) для лобної частини головного убору

Через точки G, f, V, точки V, b, Eu і точки G, fh, Eu будемо сторони розгортки сферичного трикутника (рис. 4) та отримуємо відповідне креслення клину розгортки сферичного трикутника (клину).

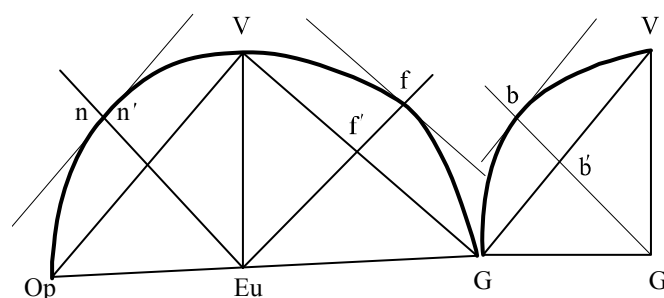


Рис. 5. Схема визначення основних та допоміжних розмірних ознак і проєкційних розмірів, що необхідні для побудови креслень конструкції ГУ прилеглої форми з чотирьох клинів, за фотовідбитками

Таблиця 1

Вихідні данні для проектування головного убору прилеглої форми

№ п/п	Назва виміру або розмірної ознаки	Позначення виміру або розмірної ознаки	Спосіб визначення виміру або розмірної ознаки
1	2	3	4
1	Обхват голови перший	$O_{\text{гол } 1}$	Контактний
2	Довжина лобної частини дуги $O_{\text{гол } 1}$	$\smile G-fh-Eu$	3 фотовідбитка. Вигляд зверху. Довжина дуги $\smile G-fh-Eu$
3	Довжина потиличної частини дуги $O_{\text{гол } 1}$	$\smile Eu-nh-Op$	3 фотовідбитка. Вигляд зверху. Довжина дуги $\smile Eu-nh-Op$
4	Довжина хорди лобної частини дуги $O_{\text{гол } 1}$	$ G-Eu $	3 фотовідбитка. Вигляд зверху. Довжина відрізка $ G-Eu $
5	Довжина хорди потиличної частини дуги $O_{\text{гол } 1}$	$ Eu-Op $	3 фотовідбитка. Вигляд зверху. Довжина відрізка $ Eu-Op $
6	Довжина повздожньої (сагітальної) дуги	Дпр	3 фотовідбитка. Вигляд збоку. Довжина дуги $\smile G-f-V-n-Op$
7	Довжина лобної частини повздожньої (сагітальної) дуги	$\smile G-f-V$	3 фотовідбитка. Вигляд збоку. Довжина дуги $\smile G-f-V$
8	Довжина потиличної частини повздожньої (сагітальної) дуги	$\smile V-n-Op$	3 фотовідбитка. Вигляд збоку. Довжина дуги $\smile V-n-Op$
9	Довжина хорди лобної частини повздожньої (сагітальної) дуги	$ G-V $	3 фотовідбитка. Вигляд збоку. Довжина відрізка $ G-V $
10	Довжина хорди потиличної частини повздожньої (сагітальної) дуги	$ V-Op $	3 фотовідбитка. Вигляд збоку. Довжина відрізка $ V-Op $
11	Довжина $\frac{1}{2}$ поперечної дуги	Дп/2	3 фотовідбитка. Вигляд спереду. Довжина дуги $\smile Eu-d-V$
12	Довжина хорди $\frac{1}{2}$ поперечної дуги	$ Eu-V $	3 фотовідбитка. Вигляд спереду. Довжина відрізка $ Eu-d-V $

Але форма голови людини наближена до правильної форми півкулі – лише у 6% [1] випадків. Тому побудова базової конструкції головного убору з чотирьох клинів для інших типів голів має відмінності від побудови розгортки «ідеальної» півсфери, що відповідає формі типу ОСС.

У відповідності до отриманих експериментальних даних процес проектування базової конструкції головного убору прилеглої форми також виконується в три етапи: 1) отримуємо фотовідбитки опорної поверхні голови людини з дотриманням умов фотозйомки [5]; 2) проводимо аналіз форми опорної поверхні голови за фотовідбитками [3]; 3) розраховуємо положення допоміжних точок та проєкційних вимірів (рис. 5, табл. 1); 4) виконуємо побудову клинів лобної та потиличної частин жіночого головного убору.

За базовий параметр при побудові конструкції береться розмірна ознака $B_{\text{гол}}$, яка дорівнює радіусу R півсфери. Однак, при апробації методики побудови конструкції прилеглого головного убору з клинів для різних типів просторової форми голів було запропоновано такі уточнення практичної побудови креслень деталей конструкції: використання лише одного контактного виміру $O_{\text{гол}}$, визначення інших розмірних ознак лише за фотовідбитками (табл. 1), та спрощення методики графічної побудови виробу в цілому

Висновки

Аналізуючи проведенні дослідження та отримані результати можна зробити наступні висновки: 1. Існуюча на сьогодні інформаційна база і методи побудови головних уборів прилеглих форм, що не враховують типи форм опорних поверхонь голів, не відповідають потребам сучасного ринку. Це підтвердило необхідність вдосконаленні антропометричної бази даних та розробки методу побудови, що давав можливість будувати точні конструкції відповідні опорним поверхням голів. 2. Проведені експериментальні дослідження дозволили отримати інформаційну антропометричну базу для побудови нульових конструкцій головних уборів прилеглого силуету для манекену еталону, що відповідає типу ОСС. 3. Проведений аналіз методів побудови головних уборів дав змогу визначити розрахунково-графічний метод, як більш відповідний до поставлених задач. На базі отриманих антропометричних даних та експериментальних досліджень було отримано алгоритм побудови розгортки нульових конструкцій для промислового манекену-еталону (тип ОСС). 4. Проведені дослідження дозволили визначити особливості побудови нульових конструкцій головних уборів для різних форм голів.

Література

1. Vasilyeva O. S. The development of information database for designing of hats / O. S. Vasilyeva, M.V. Kolosnichenko // *Vlákna a textile*. – 2015. – No. 3-4. – P. 31–36.
2. Васильєва О.С. Удосконалення інформаційних баз даних для дизайн-проектування головних уборів / О. С. Васильєва, М. В. Колосніченко // *Теорія та практика дизайну. Технічна естетика*. – 2015. – Випуск 8. – С. 34–40.
3. Васильєва Е.С. Проектирование головных уборов для различных типов головы человека / Е. С. Васильєва // *Материалы IV Международной научно-практической конференции [«Текстиль, одежда, обувь, средства индивидуальной защиты в XXI веке»], (Шахты, 18-19 апреля 2013 г.) / Мин-во образования и науки Российской Федерации, ЮРГУЭС. – Шахты : ЮРГУЭС, 2013. – С. 127–131.*
4. Ергономіка і дизайн. Проектування сучасних видів одягу : навчальний посібник / М.В. Колосніченко, Л.І. Зубкова, К.Л. Пашкевич та інші. – К. : ПП «НВЦ «Профі», 2014. – 386 с.
5. Васильєва О.С. Удосконалення методу фотометрії для дослідження особливостей будови форми голови людини / О. С. Васильєва // *Проблеми легкой и текстильной промышленности Украины*. – 2010. – № 1. – С. 120–124.

Рецензія/Peer review : 2.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 13.12.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

М.Г. ІВАНИЦЬКА, Н.В. ПЕРВАЯ
Київський національний університет технологій та дизайну

РОЗРОБКА ВЗУТТЯ ДЛЯ ЛЮДЕЙ ПОХИЛОГО ВІКУ З УРАХУВАННЯМ ЕТІОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ

В статті розглядається питання необхідності розробки взуття для людей похилого віку з врахуванням етіологічних факторів. За результатами експертних опитувань науково-педагогічних працівників та магістрів за спеціальністю були визначені оптимальні параметри для виготовлення раціональної пари взуття. У статті наведено результати розробки конструкцій чоловічого та жіночого взуття, а також визначено оптимальну конструкцію взуття для людей похилого віку. Аналіз анкетних даних експертів дав змогу удосконалити конструкцію та застосувати нові матеріали для деталей верху взуття для людей похилого віку.

Ключові слова: люди похилого віку, стопа, взуття, старіння, експертна оцінка, конструкція.

M.G. IVANYTSKA, N.V. PERVAYA
Kyiv National University of Technologies and Design

THE DEVELOPMENT OF SHOES FOR ELDERLY PEOPLE WITH ETIOLOGICAL FACTOR

The article considers the issue necessity of development shoes for elderly people, taking into account the etiological factors. The results of questionnaires scientific - pedagogical workers and masters degree were identified optimal parameters for making rational pair of shoes. The article contains results in development of designs for men and women's footwear, and also the optimum design shoes for elderly people. Analysis of personal data has made it possible to improve the design and use new materials for upper parts of the shoe for elderly people.

Keywords: elderly people, foot, footwear, aging, expert evaluation, design.

Вступ

Етіологія (грец. *Aitia* – причина, *logos* – слово, вчення) розділ медицини, що вивчає причини і умови виникнення хвороб. У професійному медичному середовищі термін «етіологія» вживається також як синонім «причини». Етіологічний фактор - причина, рушійна сила будь-якого патологічного процесу. Саме етіологічні чинники є першопричиною хвороби [1]. Тому при розробці раціонального взуття для людей похилого віку необхідно враховувати етіологічні фактори, як першопричину виникнення синдрому вікової стопи.

Старість є останнім етапом онтогенезу людини. Головною її особливістю є генетично зумовлений процес старіння, який проявляється в інволюційних змінах в організмі та психіці, послабленні їх функціонування. Фізіологічні перетворення, а також соціально-психологічні чинники впливають на особистісну сферу, поведінку, спосіб життя старої людини похилого віку [2].

Період старіння називають геронтогенезом (грец. *geron* – стара людина і *genesis* – походження). За новою віковою класифікацією Всесвітньої організації охорони здоров'я до людей похилого віку належать ті кому 60–75 років [3].

На цьому етапі життя людина помітно втрачає фізичну силу, енергійність, погіршується її здоров'я та психофізіологічні показники. Знижується функціонування судинної та імунної систем, еластичність тканин організму. Шкіра стає твердішою, чутливішою до подразнень, така людина адаптує свою поведінку до фізіологічних обмежень [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Актуальність вивчення проблем, пов'язаних зі стопами людей похилого віку, обумовлена високою поширеністю її патології серед дорослого населення і розвитку синдрому вікової стопи, який можна визначити як комплекс анатомо-функціональних порушень, які розвинулися з віком на тлі атрофічних і патологічних змін кісток і суглобів, периферичних нервів і судин, шкіри і м'яких тканин, що призводять до порушення основних функцій стопи і обмеженню пересування.

Відомо, що процес старіння разом з усім організмом захоплює і тканини стопи. Наслідки цих змін можуть істотно обмежувати рухливість літньої людини в результаті запально-дистрофічних процесів і вираженого больового синдрому.

Вікові зміни стоп розвиваються внаслідок порушення кровообігу, яке може бути наслідком атеросклерозу, запального ураження артерій та вен, а також діабетичним ураженням кровоносних судин нижніх кінцівок.

Більше 50% уражень стоп провокує травма взуттям, це підтверджує важливість розробки раціональної конструкції взуття. Втрата м'язової маси і тонусу сухожиль з віком призводить до сплюснення зводу стопи і зменшення її гнучкості, а старіюча шкіра менш стійка до різного роду травм та інфекцій. Тому взуття для даної вікової групи повинне бути зручним при використанні [4].

Основна частина

Відомо, що одним з найбільш об'єктивних методів обґрунтованого вибору конструкції та матеріалу на виріб який розробляється є метод експертного опитування. При розробці нового виду взуття таке опитування має проводитися в два етапи. На першому етапі встановлюються вимоги до виробу з урахуванням його основних і допоміжних функцій та особливостей умов експлуатації, на другому –

проводиться розробка номенклатури показників якості матеріалів для виготовлення деталей взуття та встановлення їх значущості шляхом ранжування.

В якості експертів виступали науково-педагогічні працівники кафедри конструювання і технології виробів із шкіри та Київського національного університету технологій та дизайну, які можуть бути потенційними споживачами взуття, що розробляється, а також магістри за спеціальністю. Експертна оцінка проводилась для визначення вагомості обраних показників якості та коефіцієнта конкордації (ступеня узгодженості думок експертів). Для проведення опитування була розроблена анкета (табл. 1) та запропоновані варіанти різних конструкцій. Обробка отриманих відповідей на запитання, які сформовані у табл. 1 дозволила визначити пріоритетні позиції, які були враховані при розробці конструкції взуття для людей похилого віку. Домінуючим напрямом при цьому було забезпечення ергономічності. Кількість експертів складала 15 чоловік [5]. Анкета опитування включає запитання, які б максимально направили на пошуки ідеальної пари для людей похилого віку.

Таблиця 1

Анкета опитування експертів

№	Запитання	Варіант відповіді			
		1	2	3	4
1.	Які повинні застосовуватись матеріали для верху взуття?	Натуральна шкіра	Текстильні матеріали	Штучна шкіра	Комбінація матеріалів
2.	Яка кольорова гамма найбільш доречна для взуття весняно-літнього сезону?	Білі або пастельні кольори	Яскраві кольори	Чорні або коричневі	Комбінація кольорів
3.	Як взуття повинне фіксуватись на нозі?	На шнурівці	На гумках(гумці)	На застібці велькро	Комбінація
4.	Які види декору найкраще застосувати?	Перфорація	Декоративні або ажурні строчки	Накладні деталі на підйомі, пряжки	Комбіновані
5.	Яка повинна бути підошва?	Гнучка	Легка	Довготривалого зносу	Комбіновані



а



б



в

Рис. 1. Додаток до анкети опитування експертів. Варіанти різних конструкцій жіночого взуття для весняно-літнього періоду
а – напівчеревики на гумках; б – напівчеревики на застібці «велькро»; в – напівчеревики на шнурівці



а



б



в

Рис. 2. Додаток до анкети опитування експертів. Варіанти різних конструкцій чоловічого взуття для весняно-літнього періоду
а – напівчеревики на гумках; б – напівчеревики на застібці «велькро»; в – напівчеревики на шнурівці

За даними першого етапу опитування виявилось, що для цієї мети респонденти схвалюють за доцільне використовувати натуральну шкіру, взуття має бути у білих або пастельних тонах, фіксуватися на нозі за допомогою гумок (гумки), у якості декору використовувати комбінацію перфорації та декоративних строчок, а підошва має бути гнучкою, легкою і довготривалою зносу.

Враховуючи результати анкетування та вимоги до повсякденного взуття [6], а також те, що повнотні розміри стопи і гомілки літніх людей змінюються протягом дня через схильність до набрякості, в конструкціях взуття було передбачено регульований спосіб закріплення на нозі: шнурівка, вставки з еластичної гуми, пряжки, застібка блискавка або "велькро".

З огляду на особливу чутливість ніг, взуття для людей похилого віку повинно мати м'який верх з мінімальною кількістю швів, особливо в пучковій частині. Не допускається виготовляти взуття, заготовка верху якого складається з ремінців. Форма носкової частини взуття повинна мати достатнє розширення та наповнення, повторюючи анатомічну форму і бути злегка заокругленою, а висота каблука не повинна перевищувати 40 мм у жіночому взутті та 20 мм у чоловічому. Задники у взутті повинні бути асиметричні (з

подовженим внутрішнім крилом). Взуття слід виготовляти з м'якою (амортизуючою) устілкою по всій опорній поверхні устілки, товщина якої повинна бути 2,0–3,5 мм.

Взуття для даної вікової групи повинно виконуватись в класичному стилі, характерною особливістю якого є стриманість і лаконічність декору. Використання декоративних засобів обмежене вимогами комфортності, дозволено застосовувати: перфорацію, накладні деталі на підйомі, декоративні строчки, банти.

Найбільш прийнятні варіанти літнього взуття – безпідкладкові туфлі з відкритою п'ятковою частиною і ремнем позаду, з перфорацією по всій площі деталей з метою поліпшення гігієнічних властивостей моделей. Раціональними видами закритого взуття для літніх жінок є туфлі з вставками еластичних гумок, лоуфери, мокасини, черевики, чоботи з укороченими халявами. Таким чином, все вище перелічене було враховане при розробці взуття для людей похилого віку та під час виробничої практики на базі СП Риф – 1 (м. Київ), було виготовлено дослідні зразки взуття для сезону весна-літо (рис. 3).

Окрім раціональної конструкції, умовою придатності розробленого взуття для комфортного споживання є обґрунтований вибір матеріалів для його виготовлення. Особливо це стосується матеріалів для деталей верху, оскільки вони мають сполучати міцність та формостійкість з високими показниками гігієнічних властивостей.

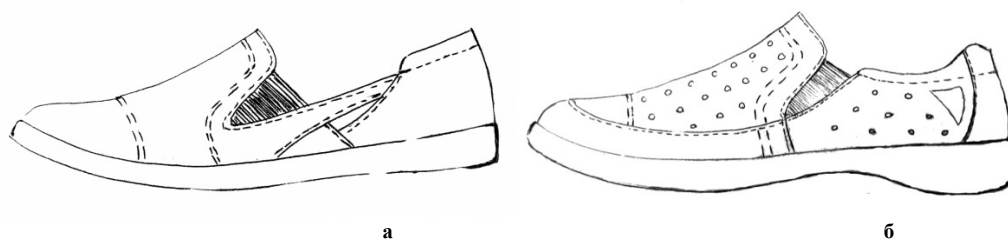


Рис. 3. Конструкція жіночого взуття
а – жіноче; б – чоловіче

Враховуючи особливості взуття, що розробляється, до гігієнічних показників якості віднесено здатність взуття забезпечувати нормальний повітря- та вологообмін між внутрішньовзуттєвим простором та навколишнім середовищем, мати оптимальні теплозахисні властивості. До показників, що характеризують ергономічність відносяться – висока жорсткість при згинанні, мінімальна вага [7]. Опитувані респонденти оцінювали також вагомість показників надійності – міцність, стійкість до тертя та дії поту (табл. 2) [8].

Таблиця 2

Анкета експерта (приклад) щодо ранжирування показників якості матеріалів деталей верху взуття для людей похилого віку

Позначення	Показники якості матеріалів та їх розмірність	Рангова оцінка
Ергономічні показники		
X1	Паропроникність, мг/см ² ч.	4
X2	Гігроскопічність, %	2
X3	Водопроникність у динамічних умовах, хв.	3
X4	Жорсткість, сН.	5
Показники надійності		
X5	Межа міцності при розтягненні, МПа, не менше	6
X6	Подовження при напруженні, 10 МПа, не менше	7
X7	Подовження при розриві, %	8
X8	Стійкість покриття до багаторазового згину, мегацикли	1
X9	Опір роздиранню, Н/мм	9

Опитування експертів здійснювалося індивідуально, рангова оцінка зводилась до визначення вагомості кожного показника рангом. Найбільш важливий показник позначили рангом R=1, а найменш значимий – рангом R = n, де n = 15 (число обговорюваних показників). Коефіцієнти вагомості кожного чинника розраховуються за формулою:

$$I_i = \frac{mk - S_i}{0,8mk - (k-1)} \quad (1)$$

Значення коефіцієнту конкордації складо W = 0,78. Також були розраховані істотно значимі показники за формулою:

$$I_{ij} = \frac{I_i - I_j}{2I_i} \quad (2)$$

Отримані результати наведені в табл. 3

Таблиця 3

Істотно значимі показники якості матеріалів для верху взуття для людей похилого віку

№	Позначення	Показники якості	Коефіцієнт вагомості
1	X8	Стійкість покриття до багаторазового згину, мегацикли	0,180
2	X2	Гігроскопічність, %	0,159
3	X3	Водопроникність у динамічних умовах, хв.	0,145
4	X1	Паропроникність, мг/см ² ч.	0,139
5	X4	Жорсткість, сН.	0,12
Сума			1,00

Тобто при розробці взуття для людей похилого віку необхідно враховувати такі ергономічні показники якості до матеріалів верху, як паропроникність, гігроскопічність, водопроникність у динамічних умовах та жорсткість, а також показник надійності – стійкість покриття до багаторазового згину.

Висновки

Аналізуючи проблеми, пов'язані зі стопами людей похилого віку, які обумовлені патологіями серед дорослого населення, було виявлено необхідність розробки раціональної конструкції взуття з дотриманням естетичних вподобань, а також вимог, які були встановлені шляхом експертного опитування. На базі отриманих результатів були розроблені дослідні зразки на підприємстві СП Риф-1, головною особливістю яких є зручність одягання та експлуатації, одягання – знімання, надійна фіксація. Взуття фіксується на нозі за допомогою гумок, перфорація дає нозі дихати, пастельні кольори не дають нозі перегріватися, підошва легка та зручна. Опитування, яке проводилось серед працівників кафедри конструювання та технології виробів із шкіри при КНУТД та магістрів за спеціальністю, допомогло сформулювати вимоги і розробити номенклатуру показників якості матеріалів для деталей верху взуття, завдяки чому у подальшому будуть обиратись матеріали з підвищеними ергономічними властивостями та показниками надійності.

Література

1. Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Этиология>
2. Савчин М.В. Вікова психологія : навчальний посібник / М.В. Савчин, Л.П. Василенко. – К. : Академвидав, 2005. – С. 323–324.
3. Филантроп : электронный журнал о благотворительности [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://philanthropy.ru/analysis/2014/10/13/18188/#.VzW0RmhkJDd>
4. Анатомофизиологические особенности стопы и причины развития ее возрастных изменений / И.П. Пономарева, Е.М. Дьякова, К.А. Сотников, Д.В. Крылов, В.А. Ващенко // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 7 (часть 4). – С. 776–780.
5. Априорне ранжування чинників [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт по дисципліні "Основи наукових досліджень" для студентів спеціальності 7.0918.20 "Взуття, шкіргалантерейні і лимарні вироби" ден. та заоч. форм навч. / упор. : М. Л. Чобітько, Н. В. Первая. – К. : КНУТД, 2004. – 13 с.
6. Взуття повсякденне. Загальні технічні умови (ГОСТ 26167 – 2005, IDT) : ДСТУ ГОСТ 26167:2009. – [Чинний від 2009 – 10 - 15]. – К. : Держспоживстандарт України 2009. – 6 с. – (Національний стандарт України).
7. Матеріалознавство виробів легкої промисловості / В. В. Рибальченко, В. П. Коновал, М. Є. Хом'як, Г. І. Шевченко. – К. : КНУТД, 2008. – 320 с.
8. Рибальченко В. В. Матеріалознавство виробів легкої промисловості. Методи випробувань / В. В. Рибальченко, В. П. Коновал, Е. П. Дрегуляс. – К. : КНУТД, 2010. – 394 с.

Рецензія/Peer review : 8.9.2016 р. Надрукована/Printed : 13.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор В. П. Коновал

ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОДИСПЕРСНОГО ОКСИДУ КРЕМНІЮ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ШКІРЯНОГО НАПІВФАБРИКАТУ

Визначено вплив високодисперсного оксиду кремнію (II) на властивості наповнювальної композиції для шкіряного напівфабрикату хромового дублення. Встановлено оптимальну витрату високодисперсного оксиду кремнію (II) в композиції для наповнювання, яка забезпечує необхідний комплекс фізико-хімічних і санітарно-гігієнічних властивостей еластичних шкіряних матеріалів для виготовлення швейних виробів і верху взуття.

Ключові слова: шкіряний напівфабрикат, композиція для наповнювання, структура дерми, властивості шкіри.

A.H. DANYLKOYCH, S.O. BILINSKIY, A.YU. KUDZIEVA

Kyiv National University of Technologies and Design

USE OF HIGHLY DISPERSE SILICON OXIDE IN MANUFACTURING TECHNOLOGY OF LEATHER SEMIS

The purpose of the work is the determination of high disperse silicon oxide influence on the properties and filling of wet-blue leather during the production of elastic leather materials. The process of filling wet-blue leather with the using highly dispersed silicon dioxide (II) during the production materials for garments and shoe uppers was researched. In the paper determined the effect of filling composition on complex of physical and mechanical properties, and hygienic quality of elastic leather materials. In particular, strength and water vapour permeability of filled leather exceed a control example to 10,5-12,0 and 25,0-30,0%. The resulting filled leather according to their properties is responsible to leather material for garment by state standard 3115-95, the international standard for the leather uppers 939-88 and international standard quality management system «ISO 9001: 2008." Therefore, the optimum consumption of high disperse SiO₂ in filling composition was determined. It provides required complex of physical chemical as well as sanitary and hygienic properties of elastic leather materials.

Keywords: semi-finished leather, composition for filling, structure of a derma, skin properties.

Вступ

Сучасне виробництво полі функціональних шкіряних матеріалів вимагає суттєвого удосконалення існуючих і розробки інноваційних технологій з використанням нових реагентів і матеріалів. Поряд з цим, в зв'язку з багатостадійністю технологій переробки натуральної сировини виникає необхідність підвищення ефективності окремих процесів, пов'язаних з попередніми і наступними обробками в технологічному циклі виробництва шкіряного матеріалу. Враховуючи певну техногенність і значну матеріалоемність виробництва суттєвим аспектом цієї проблеми є раціональна витрата технологічних матеріалів на основі науково обґрунтованих умов їх використання. Зважаючи на те, що в існуючих технологіях використовується значна кількість реагентів і матеріалів виробництва закордонних фірм, що суттєво підвищує собівартість шкіряної продукції, актуальним є розробка нових вітчизняних матеріалів та дослідження умов їх ефективного використання, зокрема в післядубильних процесах.

Технологія виробництва шкіряних матеріалів передбачає проведення широкого комплексу колоїдно-хімічних процесів з використанням синтетичних природних реагентів і механічних операцій, особливості яких суттєво залежать від їх цільового призначення [1, 2]. Відомо застосування в технологіях виготовлення еластичного шкіряного напівфабрикату на стадії наповнювання гідрофільних полімерів поліакрилового ряду в композиціях з іншими реагентами [3, 4]. Завдяки цьому матеріал ущільнюється, збільшується його товщина, міцність і пружність та зменшується нерівномірність за площею. Автори роботи [5] показали, що використання водної емульсії кополімеру бутилакрилату і стиролу забезпечує формування шкіряних матеріалів з підвищеною термостійкістю, міцністю та еластичністю.

Ефективне формування складної ієрархічної структури колагену дерми шкіряного напівфабрикату на стадії додублювання-наповнювання вимагає використання комплексу реагентів певного хімічного складу. При цьому кожен з інгредієнтів виконує певну колоїдно-хімічну функцію, а саме забезпечується дифузія компонентів робочого розчину аж до мікрофібрилярного рівня, що сприятиме збереженню структури шкіряного напівфабрикату в диспергованому стані після видалення вологи при сушінні. Використання композиції до складу якої входять азотмісткі гідрофільні полімери і акрилова емульсія А [6] забезпечить підвищення стійкості шкіряного матеріалу до тертя, міцності, еластичності та зниження скорочення напівфабрикату при його оздобленні. Композиція білкового гідролізату, глутарового альдегіду і танідів забезпечує формування матеріалу високої якості [7] при зменшенні техногенного впливу на навколишнє середовище. Для отримання шкіряного матеріалу з високими пружно-пластичними характеристиками використовуються наповнювальні композиції, до складу яких входять таніди [8, 9]. При цьому процес наповнення суміщається з жируванням.

Останні роки при виробництві шкіряних матеріалів в наповнювальних композиціях використовують мінеральні реагенти природного походження [1, 10, 11]. Показана доцільність використання для наповнювання шкіряного напівфабрикату хромового дублення модифікованого бентоніту з вмістом 85 % монтморилоніту. При цьому встановлено підвищення рівня формування об'єму дерми, виходу площі шкір, фізико-механічних і деформаційних характеристик. Використання композиції модифікованого бентоніту поліфосфатом натрію з витратою 2–4 % маси струганого напівфабрикату [12, 13] дозволяє суттєво підвищити товщину і об'ємний вихід шкіряного матеріалу та збільшити його площу до 104,8–105,7 %

порівняно з варіантом без бентоніту. Композиція, що включає Na-монтморилоніт, кополімер акрилової кислоти, альдегід та сульфат хрому при подублюванні-наповнюванні [14–17] дає змогу підвищити товщину матеріалу, його міцність при розтягуванні, продавлюванні кулькою та надриві. Введення лігносульфонату натрію в дисперсію бентоніту [18] забезпечує вирівнювання товщини за топографічними ділянками напівфабрикату, зменшення його скорочення та підвищення виходу площі готового матеріалу.

Використання композиції для подублювання-наповнювання напівфабрикату хромового дублення [19–21], що включає монтморилоніт і поліакрилову кислоту, дозволяє формувати шкіри з гладкою лицьовою поверхнею і приємним грифом. Аналіз фізико-механічних властивостей шкір указує на підвищення орієнтаційної здатності волокон структури матеріалу при деформації.

Відомо використання мінералу цеоліту в композиції для наповнювання шкіряного напівфабрикату [22–24]. При цьому ущільнюється макропориста структура дерми, збільшується наповненість периферійних ділянок шкіряного напівфабрикату і, відповідно, товщина готової шкіри, але зменшується вихід її площі.

Отже, в процесах дублювання-наповнювання шкіряного напівфабрикату може використовуватись широкий асортимент природних мінеральних реагентів різної хімічної структури з відповідним комплексом колоїдно-хімічних властивостей. При цьому поверхня їх частинок попередньо модифікується або в процесі приготування робочої композиції. Ефективність застосування таких композицій в основному визначається їх хімічним складом. В зв'язку з цим розробка нових наповнювально-додублювальних композицій та їх складів з використанням високодисперсного синтетичного оксидного інгредієнту може мати значне наукове і практичне значення.

Метою роботи є встановлення впливу високодисперсного оксиду кремнію на процес наповнювання і властивості шкіряного напівфабрикату хромового дублення при виготовленні еластичних шкіряних матеріалів.

Матеріали і методи

Для встановлення впливу оксиду кремнію на формування шкіряного матеріалу з сировини великої рогатої худоби (ВРХ) мокро соленого консервування – ялівки середньої у роботі використано шкіряний напівфабрикат хромового дублення (НХД) товщиною 1,5–1,6 мм у виді симетричних полос розміром 10×75 см, розділених на три зразки і пронумерованих від хребтової лінії. Досліджуваний напівфабрикат отриманий в умовах публічного АТ «Чинбар» (м. Київ) за методикою виробництва шкір для верху взуття цього підприємства. Зразки напівфабрикату використовувались після віджимання і стругання.

Процес наповнювання напівфабрикату виконували після промивання і нейтралізації зразків до рН 5,4 за індикатором бромкрезоловим зеленим у поліетиленових ємностях об'ємом 1 дм³ при співвідношенні робочий розчин / напівфабрикат 1,2 / 1,0, витраті наповнювальної композиції 11 % маси напівфабрикату, температурі 28–30 °С і постійному обертанні у вертикальній площині зі швидкістю 18–20 хв⁻¹ на установці (рис. 1).

До складу наповнювальної композиції входили хімічні матеріали:

- трупон DL (фірма Трумпер, Німеччина) як електролітостійкий жирувальний реагент;
- релуган D (фірма БАСФ, Німеччина) як продукт конденсації на основі меламіну із сухим залишком 96 %;
- трупотан G (фірма Трумплер, Німеччина) з вмістом активної речовини 93 %, отриманий на основі фенольних сполук і має негативний заряд;
- екстракт квебрахо (Китай) з 85 % вмістом танідів та 5–6 % золи від маси сухої речовини, доброякісність ~ 85 %.
- високодисперсний оксид кремнію (II) марки А-300 виробництва Калушського хіміко-металургічного комбінату за ліцензією фірми Degussa (Німеччина в м. Калуш Івано-Франківської області (Україна) розміром його проточастинок 1–2 нм, первинних частинок 4–50 нм. та питомою поверхнею 50–380 м²/г [25].

Аеросил А-300 використовувався в суміші з жирувальною емульсією трупон DL. Через 10 хв. обробки напівфабрикату в робочий розчин додавали продукт конденсації на основі меланіну – релуган D, а ще через 10 хв. диспергатор танідів – трупотан G і екстракт квебрахо. Загальна тривалість процесу наповнювання-додублювання тривала 150 хв. Зразки наповненого напівфабрикату всіх варіантів обробки піддавали жируванню з витратою жирувального реагенту трупон DL 7 % маси напівфабрикату. Процес наповнювання шкіряного напівфабрикату завершували при рН 4,0–4,2. Наступні технологічні процеси і операції наповнювання-додублювання шкіряного напівфабрикату виконували за технологією ПАТ Чинбар».

Дослідження хімічного складу наповненого напівфабрикату та його фізико-механічні випробування проводили за методикою [26]. Механічні показники отриманих шкіряних матеріалів визначали на розривній машині РТ-250М при швидкості деформування зразків 90 мм/хв. і приладі для визначення жорсткості ПЖУ-12М. Санітарно-гігієнічні властивості – повітропроникність і паропроникність оцінювали відповідно на приладі для визначення повітропроникності та ексікаторним методом при температурі 20–21 °С. Об'ємний вихід і пористість шкіряного напівфабрикату – за відношенням об'єму напівфабрикату наповненого



Рис. 1. Установка для проведення технологічної обробки шкіряного напівфабрикату в динаміці

композицією до об'єму добутку маси зразка на уявну питому вагу в $\text{см}^3 / 100 \text{ г}$ голинної речовини (ГР) та фіксацією об'єму гасу, який заповнює пори досліджуваного напівфабрикату.

Результати та їх обговорення

Перспективність використання синтетичного оксиду кремнію (II) на стадії наповнювання-додублювання обумовлена, насамперед, високою дисперсністю його частинок та наявністю на їх поверхні гідроксильних груп. У зв'язку з цим в даній роботі цей гідрофільний наповнювач – аеросил А-300 був використаний в технології переробки шкіряної сировини в післядубильних процесах. Витрата інгредієнтів наповнювально-додублювальної композиції за участю аеросилу А-300 наведено в табл. 1. При цьому враховувалось функціональне призначення кожного інгредієнта за постійної витрати конденсованих поліфенолів квебрахо і жирувальних речовин. Витрата аеросилу А-300, диспергуванню якого сприяло використання сульфатованого жирувального реагенту трупон DL, змінювалась в напрямі зменшення кількості продукт конденсації на основі мелаїну релуган D і диспергатора танідів трупотан G порівняно з контрольним варіантом. За максимальної витрати аеросилу А-300 кількість цих інгредієнтів зменшено у двічі.

Таблиця 1

Витрата інгредієнтів композиції для наповнювання-додублювання шкіряного напівфабрикату

Інгредієнт композиції	Витрата, % маси напівфабрикату за варіантом			
	К	1	2	3
Високодисперсний оксид кремнію (II) – аеросил А-300	0	1	2	3
Жирувальний реагент – трупон DL	1	1	1	1
Релуган D	2	2	1	1
Трупотан G	3	2	2	1
Екстракт квебрахо	6	6	6	6

Примітка. К – контрольний варіант обробки шкіряного напівфабрикату.

Вплив складу наповнювально-додублювальної композиції на результати хімічного аналізу наведено в табл. 2. Порівняно з контрольним варіантом вміст голинної речовини зменшується зі збільшенням вмісту високодисперсного оксиду кремнію (II). При цьому в напівфабрикаті зростає вміст дубильних речовин.

Таблиця 2

Хімічний склад і властивості шкіряного напівфабрикату

Показник	Значення показника за варіантом			
	К	1	2	3
Масова частка, %: вологи	13,3	14,1	14,4	14,7
– голинної речовини	68,3	66,8	66,1	65,7
– золи	5,4	6,3	7,1	7,7
– оксиду хрому (III)	4,2	4,0	3,8	3,5
– речовин, що екстрагуються органічними розчинниками	8,3	8,5	8,6	8,9
– дубильні речовини	14,7	15,6	15,9	15,8
Температура зварювання напівфабрикату, °C	113,0	114,0	115,0	114,0
Товщина шкіри, мм	1,30	1,39	1,43	1,40
Об'ємний вихід шкіри, $\text{см}^3/100 \text{ г ГР}$	213	237	240	235
Пористість зразків з ділянки поли, %	48,0	56,0	58,0	59,0
Межа міцності при розтягуванні, МПа	21,0	23,5	23,0	23,5
Відносне видовження при навантаженні 10 МПа, %	25,0	31,0	32,0	33,0
Відносне видовження при розриві, %	59,0	64,5	64,5	63,0
Жорсткість шкіри, сН	38,0	29,0	27,0	28,0

При мінімальній витраті аеросилу А-300 спостерігається зростання пористості шкіряного напівфабрикату хромового дублення з температурою зварювання 113–115 °C. При цьому абсолютні значення пористості в пухкій топографічній ділянці – пола підвищуються на 8–11 % порівняно з контрольним варіантом. Поряд з цим відбувається збільшення товщини шкіряного матеріалу та його об'ємного виходу відповідно на 9–10 і 11,0–12,6 %.

Характер залежності фізико-механічних показників готового шкіряного матеріалу, в основному, корелює зі змінами його фізичних характеристик при збільшенні вмісту аеросилу А-300 в напівфабрикаті. Збільшення міцності й відносного видовження шкіри при витраті аеросилу А-300 1,0 % порівняно з контрольним варіантом можна пояснити глибокою міжмікрофібрилярною дифузійною частинок високодисперсного оксиду кремнію (II). Після видалення вологи під час сушильно-зволожувальних процесів елементи волокнистої структури шкіряного напівфабрикату залишаються в диспергованому мобільному стані з можливою їх орієнтацією при деформуванні. Однак, при максимальних витратах аеросилу А-300 спостерігається деяке зниження деформаційних характеристик шкіри. При цьому порівняно з контрольним варіантом показник жорсткості наповненої шкіри зменшується на 24,0–30,0 %.

Характер залежностей санітарно-гігієнічних властивостей зневодненого шкіряного напівфабрикату при збільшенні в ньому вмісту аеросилу А-300 (рис. 2) корелює із зміною його пористості. При цьому паро- і повітропроникності досягають максимального значення в топографічних ділянках чепрака і поли відповідно

при витраті аеросилу А-300 1,0 і 2,0 %. Такий характер залежності паро- і повітропроникності від витрат аеросилу А-300 може бути обумовлений, як колоїдно-хімічними властивостями високодисперсного оксиду кремнію (ІІ), так і механізмом дифузії парів води та повітря через структуру шкіряного матеріалу. Якщо при проходженні парів води через товщу натурального матеріалу відбувається спочатку адсорбція молекул води на поверхні елементів модифікованої структури колагену дерми за участю його функціональних груп з наступною їх десорбцією, то у випадку повітропроникності механізм визначається, в основному, особливостями тільки пористої структури матеріалу. При збільшенні витрат аеросилу А-300 понад 2,0 % відбувається нерівномірне відкладання наповнювально-додублювальної композиції в структурі дерми – в більшій мірі в поверхневому сосочковому шарі дерми, що затрудняє подальшу дифузію інгредієнтів наповнювача в структуру матеріалу.

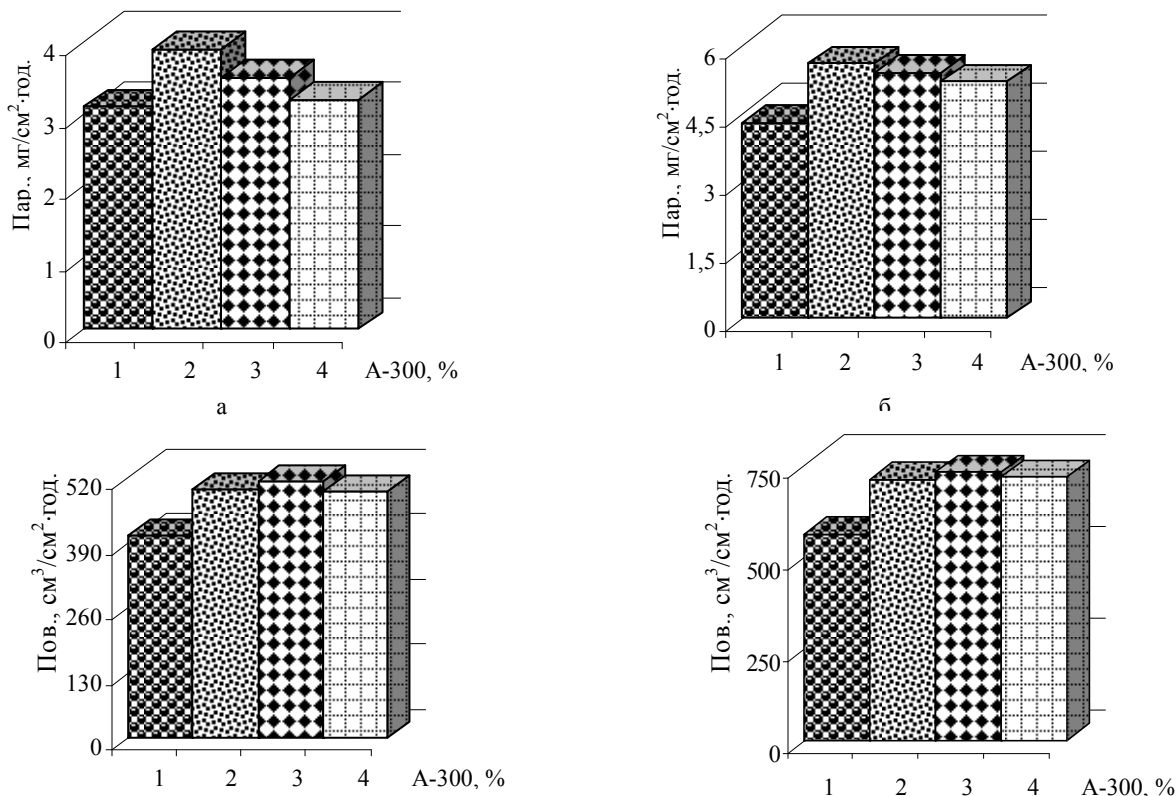


Рис. 2. Залежність паропроникності та повітропроникності шкіряного напівфабрикату від витрати аеросилу А-300 і топографічної ділянки: а, в – чепрак; б, г – пола

Отже, високодисперсний оксид кремнію (ІІ) може бути використаний в композиції для процесу наповнювання-додублювання шкіряного напівфабрикату, як частковий заміник імпорتنих інгредієнтів для поліпшення фізико-хімічних і санітарно-гігієнічних характеристик еластичних шкіряних матеріалів. Застосування розробленої композиції у виробництві шкіряних матеріалів потребує подальших досліджень шляхом оптимізації її складу.

Висновки

1. Дослідження процесу наповнювання-додублювання шкіряного напівфабрикату хромового дублення з використанням високодисперсного оксиду кремнію (ІІ) показало ефективність часткової заміни ним імпорتنих диспергувальних реагентів.

2. Введення високодисперсного оксиду кремнію (ІІ) в шкіряний матеріал забезпечує підвищення фізико-механічних показників готового шкіряного матеріалу. Встановлено оптимальні витрати високодисперсного інгредієнту оксиду кремнію (ІІ) в межах 1–2 % маси напівфабрикату щодо комплексу фізико-хімічних і санітарно-гігієнічних характеристик шкіряного матеріалу. При цьому порівняно з контрольним варіантом міцність шкіри зростає на 10,5–12,0 %, а паропроникність на 25,0–30,0 %.

3. Характер залежності властивостей шкіряного напівфабрикату від витрат високодисперсного оксиду кремнію (ІІ) обумовлений особливостями концентраційної дифузії його частинок в структуру колагену дерми. При мінімальній витраті жирувального інгредієнту в наповнювальній композиції та збільшенні співвідношення високодисперсного оксиду кремнію (ІІ) відносно жирувального інгредієнту до 3:1 відбувається суттєве підвищення концентрації наповнювача в сосочковому шарі шкіряного матеріалу.

4. Встановлено ефективний вплив високодисперсного оксиду кремнію (ІІ) на санітарно-гігієнічні властивості шкіряного матеріалу в його периферійних топографічних ділянках. Отриманий наповнений шкіряний матеріал за комплексом властивостей відповідає еластичним шкіряним матеріалам для швейних виробів за ДСТУ 3115-95, міждержавному стандарту на шкіри для верху взуття «ГОСТ 939-88» і вимогам міжнародного стандарту систем управління якістю «ISO 9001:2008».

Література

1. Грищенко І. М. Поліфункціональні шкіряні матеріали : монографія / І. М. Грищенко, А. Г. Данилкович, О. Р. Мокроусова ; за ред. А. Г. Данилковича. – К. : Фенікс, 2013. – 268 с.
2. Інноваційні технології виробництва шкіряних і хутрових матеріалів та виробів : монографія / за ред. А. Г. Данилковича. – К. : Фенікс, 2012. – 344 с.
3. Ma J. Z. Elasticity studies on leather retanned with various types of acrylic polymers / J. Z. Ma, H. Lu // J. Amer. Leather Chem. Assoc. – 2008. – V. 103 (11). – P. 363–369.
4. Данилин Д. В. Влияние распределения наполняющих полимеров по слоям спилка / Д. В. Данилин, С. И. Студеникин, Н. В. Зыкова, В. Г. Богомолов // Кожевенно-обувная промышленность. – 2009. – № 6. – С. 46–48.
5. Nashy E. H. A. Novel retanning agents for chrome tanned leather based on emulsion-nano particles of styrene/butyl acrylate copolymers / E. H. A. Nashy, A. L. Hussein, M. M. J. Essa // J. Amer. Leather Chem. Assoc. – 2011. – V. 106 (9). – P. 241–248.
6. Рамазонов Б. Г. Наполнение кож азотсодержащими полимерами / Б. Г. Рамазонов, Т. Ж. Кадиров, А. Ю. Тошев, У. О. Худанов, В. Н. Ахмедов // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. – 2008. – № 2. – С. 64–67.
7. Mariliz G. Leather retanning with hydrolyzed protein / G. Mariliz, D. Silva, I. Vigannico // J. Amer. Leather Chem. Assoc. – 2010. – V. 105. – P. 195–202.
8. Чурсин В. И. Влияние биополимерных композиций на упруго-пластические и прочностные свойства кож / В. И. Чурсин, Е. В. Бордунова, А. В. Осипов // Кожа и обув. – 2008. – № 2. – С. 16–18.
9. Wang C. Preparation of organosilicone modified palm oil fatliquor / C. Wang, S. Feng, J. Wu // J. Amer. Leather Chem. Assoc. – 2011. – V. 106. – P. 161–169.
10. Мокроусова О. Р. Високодисперсні мінеральні наповнювачі для шкір / О. Р. Мокроусова // Вісник КНУТД. – 2008. – № 1 (38). – Т. 2. – С. 354–358.
11. Мокроусова О. Р. Сучасні аспекти післядубильних процесів виробництва шкіри / О. Р. Мокроусова, Р. В. Качан, О. П. Козарь // Вісник ХНТУ. – 2014. – № 1 (48). – С. 128–136.
12. Мокроусова О. Р. Наповнювальна здатність високодисперсних мінералів різної кристалічної структури / О. Р. Мокроусова, А. Г. Данилкович, І. І. Марцін // Вісник КНУТД. – 2008. – № 2. – С. 34–43.
13. Мокроусова О. Р. Наповнювання шкіряного напівфабрикату. Модифікування та використання бентонітових дисперсій / О. Р. Мокроусова, А. Г. Данилкович // Вісник ХНУ. – 2008. – № 3. – Т. 1. – С. 239–244.
14. Ma J. The preparation and application of a montmorillonite-based nanocomposite in leather making / Jianzhong Ma, Xinjiang Chen, Yun Chu et al. // JSLTC. – 2003. – Vol. 87, № 4. – P. 131–134.
15. Mishra J. K. New Millable polyurethane/organoclay nanocomposite: preparation, characterization and properties / J. K. Mishra, I. Kim, C. S. Ha // Macromolecular Rapid communications. – 2003. – Vol. 24. – P. 671–675.
16. Ma J. Z. The acrylic resin leather coating agent modified by nano-SiO₂ / J. Z. Ma, Z. J. Hu, L. Y. Liu // Journal of Composite Materials. – 2006. – Vol. 40. – P. 2189–2193.
17. Mokrousova O. R. Formation of collagen structure of derma by mineral dispersions / O.R. Mokrousova, A.G. Danilkovich // Scientific proceedings of Riga Technical University. – 2007. – Series 1. – Part 14. – P. 83–91.
18. Мокроусова О. Р. Адсорбція лігносульфонату натрію на гідроксохромовому монтморилоніті / О. Р. Мокроусова, А. Г. Данилкович // Вісник КНУТД. – 2011. – № 2. – С. 133–139.
19. Chen Yi. Nanotechnologies for leather manufacturing: A review / Yi Chen, Fan and Bi Shi // JALCA. – 2011. – Vol. 106, № 8. – P. 261–273.
20. Bao Y. Preparation of acrylic resin/montmorillonite nanocomposite for leather tanning agent / Yan Bao, Jianzhong Ma, Yan-Li Wangi // JALCA. – 2009. – Vol. 104, № 10. – P. 352–358.
21. Zhang Xiaolei. Nanocomposites of acrylate-organsilicon resin/layered silicate for leather finishing / Zhang Xiaolei, Liu Qinglan, Zhang Weiping // JSLTC. – 2006. – Vol. 90, № 6. – P. 250–254.
22. Козарь О. П. Оцінка релаксаційно-деформаційних характеристик шкір для верху взуття, наповнених природними мінералами / О. П. Козарь, О. Р. Мокроусова, В. П. Коновал // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2013. – № 4. – С. 107–115.
23. Kozar O. P. Deformation characteristics of genuine leather, manufactured using natural minerals / O. P. Kozar, O. R. Mokrousova, V. P. Konoval // Proceedings of the 13th International Conference «Baltic Polymer Symposium», (Trakai, Lithuania, 18–21 September 2013) / R. Makuska. – Vilnius University, 2013. – P.141.
24. Козарь О. П. Оцінка показників формостійкості шкір, модифікованих органічно-мінеральними композиціями / О. П. Козарь, О. Р. Мокроусова, Т. М. Віктор // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки» Луцького національного технічного університету. – Луцьк. – 2013. – Вип. 41. – С. 135–137.
25. Айлер Р. Химия кремнезема / Р. Айлер. – М. : Мир, 1982. Ч. 1. – 416 с.
26. Аеросил (пирогенный диоксид кремния) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.silica.ru/perechen-produkczii/834-aerosil.pdf>
27. Данилкович А. Г. Аналитический контроль в производстве кожи и меха. Лабораторный практикум / А. Г. Данилкович, В. И. Чурсин. – М. : НИЦ Инфра-М, 2016. – 175 с.

Рецензія/Peer review : 20.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 13.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Кузьмінський Є. В.

АНАЛІЗ ТРАНСФЕРУ РІДИНИ В БАГАТОШАРОВИХ ПЕРЕВ'ЯЗОЧНИХ ЗАСОБАХ

Розглянуті процеси трансферу рідини в багатошарових перев'язочних засобах. Проведений аналіз вимог. Визначений механізм проходження рідини. Показано, що визначальним для вимог постійного подавання терапевтичної рідини до шкіри є відповідність кінетики зміни концентрації у другому матеріалі визначеним правилам для максимального часу і часу, що відповідає максимуму на кривій поглинання. Наведені приклади визначення параметрів для двошарових композицій.

Ключові слова: трансфер рідини, текстильні матеріали, багатошарові, перев'язочні засоби.

H.V. SHUTSKA, N.P. SUPRUN

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF FLUID TRANSFER IN MULTILAYER BANDAGING MATERIALS

The aim of this is the analysis of fluid transfer through the two-layer composition to develop practical recommendations on the selection of materials for wound coverings that provide specified medical characteristics. The processes of transfer fluid in multilayer bandaging material were investigated. The analysis of requirements was held. The mechanism of passage of the liquid is defined. It is shown that the requirements for determining continuous supply of therapeutic fluid to the skin is compliance of kinetics of change of concentration in the second material that defined rules to maximize time and time corresponding to the maximum absorption of the curve. Examples of determining the parameters for dual-layer compositions were showed. The results allow to recommend materials for a given therapeutic properties, including contact recommend a porous material structures with desired diameters and distances between pores.

Keywords: transfer fluid, textiles, laminated, dressing tools.

Вступ

Відомо, що кількість людей, які під час проведення бойових дій та у надзвичайних ситуаціях втрачають життя в результаті поранень та ускладнень, ними викликаних, є набагато більшою, ніж тих, хто гине від руйнівних факторів. 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 інвалідуючі наслідки травм. Першим засобом допомоги в таких ситуаціях на протязі всієї історії людства були і залишаються ранові покриття, що обумовлено доступністю і простотою їх застосування в різних умовах. Протягом багатьох століть пов'язки застосовувалися головним чином для зупинки кровотечі та захисту рани [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Не зважаючи на те, що у лікуванні ран різної етіології медичні пов'язки зберігають пріоритетне значення, [2–4], використання традиційних перев'язувальних засобів в останні роки стає все менш ефективним. Пов'язано це з тим, що дія багатьох з них не відповідає вимогам, які висуваються сучасною медициною. Однією з причин, що знижують ефективність ранових пов'язок, є односпрямованість їх дії в рані – тільки сорбційна, антимікробна, протеолітична і т.д. Цей недолік може бути подоланий шляхом створення ранових покриттів комплексної дії, що мають одночасно декілька властивостей [2, 4]. Із поглибленням знань в області патогенезу ранового процесу з'явилася можливість наукового обґрунтування вимог до лікарських засобів і покриттів, які використовуються для лікування ран. Цьому ж сприяють зрослі можливості фармації в області технології лікарських форм і засобів. В даний час завдяки досягненням науки з'явилися нові можливості цілеспрямованого і диференційованого використання властивостей сучасних перев'язувальних засобів на різних етапах процесу ранового загоєння [5]. У світовій практиці поширюється використання ранових пов'язок з пролонгованою лікувальною та антимікробною дією. Питання випуску ранових пов'язок нового покоління знаходяться в центрі уваги провідних фірм-виробників всіх розвинених країн світу. Фактично це композиції, побудовані як мінімум, з трьох складових: текстильної основи, полімерного шару і лікарського препарату.

В дизайні ранових покриттів активно використовується принцип багатошаровості. При цьому комбінуються полімерні матеріали різної хімічної природи і фізичної форми, оскільки це дозволяє в повній мірі використовувати їх властивості. Зазвичай прилеглий до рани шар є атравматичним, він забезпечує максимальний відтік виділень і утримування його в шарі сорбенту. Найпростішим варіантом таких засобів є пов'язки, що представляють собою комплект матеріалів, де перший шар - поліефірна сітка або медична марля, а сорбційний – неткане полотно.

Перспективна галузь використання подібних матеріалів – це текстильні трансдермальні терапевтичні системи, у яких лікарські препарати проходять до рани відповідно до необхідної кінетики.

На жаль у досліджених джерелах знайдені тільки загальні рекомендації по вибору матеріалів для забезпечення роботи ранових покриттів [6, 7].

Аналітичні роботи щодо проходження рідини крізь текстильні матеріали [8, 9] не розглядають особливостей матеріалів для ранових покриттів і не враховують специфічні вимоги до них. Експериментальні

роботи по визначенню сорбційних характеристик [10, 11] не завжди дають змогу передбачити реальні характеристики композицій.

Мета даної роботи – на основі аналізу трансферу рідини крізь двошарові композиції розробити практичні рекомендації по вибору матеріалів для ранових покрив, що забезпечують задані медичні характеристики.

Моделювання проходження рідини в двошаровому текстильному матеріалі

Розглянемо схему сучасного текстильного матеріалу для терапевтичних ранових покрив [12]. Він складається з текстильного матеріалу, плівки, що контролює інтенсивність проходження лікарського препарату (рис. 1).

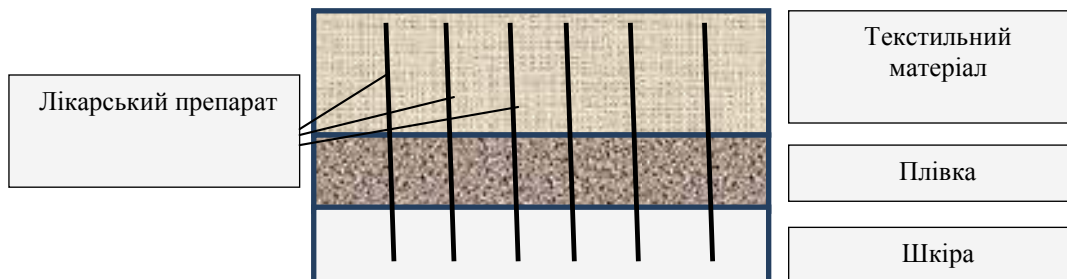


Рис. 1. Структура текстильного матеріалу для ранових покрив

Інтенсивність проходження рідини крізь текстильний матеріал характеризується зміною концентрації рідини в матеріалі і визначається залежностями, наведеними в [13]. Типова залежність зміни концентрації від часу має вигляд

$$u = 1 - e^{-\alpha t^\beta}, \quad (1)$$

Де $\tau = \frac{t}{t_0}$, $\alpha = \frac{\beta - 1}{\beta}$, $\beta = 1 + 5,05 \cdot \left(\frac{t_0}{t_m}\right)^{-1,45}$, t – поточний час, t_m – час повного накопичення матеріалу

вологою, t_0 – час, що відповідає максимуму на кривій накопичення. При цьому останні дві параметри визначаються з експериментів і можуть розглядатися, як константи матеріалу. Тут і надалі будемо мати на увазі безрозмірну концентрацію, тобто її відношення до максимальної. На рис. 2 відображені основні етапи трансферу рідини крізь перший шар матеріалу. На рис. 2,а відображений етап накопичення рідини крізь матеріал, рис. 2,б характеризує процес проходження матеріалу з врахуванням збільшення концентрації рідини на внутрішній поверхні, рис. 2,в. демонструє повне накопичення рідини в матеріалі, коли концентрація досягає одиниці, рис. 2,г. відображає процес поступового зниження концентрації в матеріалі.

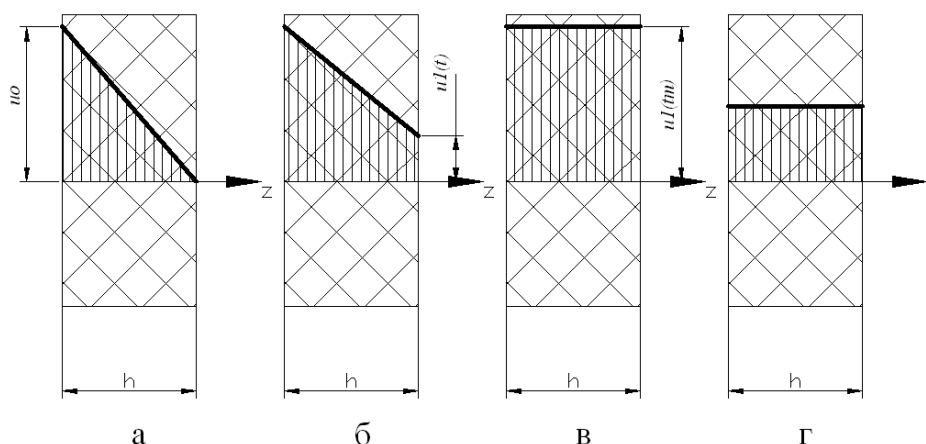


Рис. 2. Схема динаміки зміни концентрації рідини в текстильному матеріалі:

а – проходження рідини матеріалом, виділення на внутрішній поверхні відсутнє, б – продовження накопичення, зростання концентрації рідини на внутрішній поверхні, в – повне накопичення рідини в матеріалі, коли концентрація досягає одиниці, г – зменшення концентрації при видаленні рідини з внутрішньої поверхні.

Для схем (а) і (б) зміну концентрації на зовнішній поверхні можна визначити, як площу трапеції, враховуючи, що концентрація на зовнішній поверхні залишається в процесі накопичення постійною $u_0=1$. Тоді можна записати, враховуючи (1).

$$\frac{u_0 + u_1}{2} = u,$$

$$\text{Звідки } u_1 = 1 - 2 \cdot e^{-\alpha \left(\frac{t}{t_m}\right)^\beta}$$

Даний процес представлений на рис. 3, де зображена залежність концентрації на внутрішній поверхні матеріалу від часу

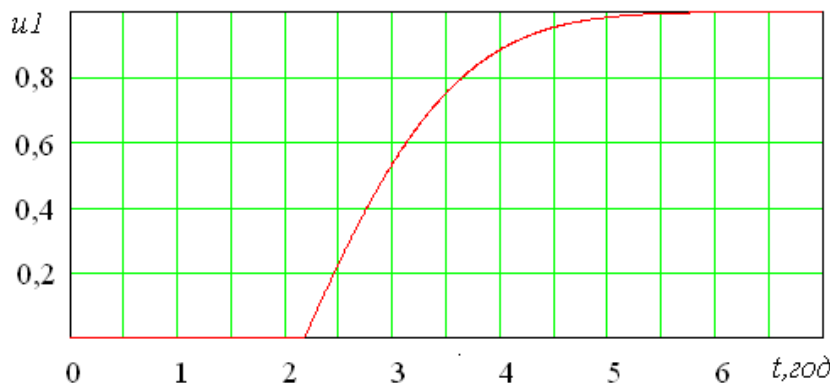


Рис. 3. Концентрація рідини на границі першого і другого матеріалів

Час початку проникнення рідини у другий матеріал може бути знайдений як

$$t = t_m \left(\frac{\ln 2}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

В подальшому будемо вважати цей час початком роботи, тобто криву рис. 3 перемістимо ліворуч на відповідну відстань.

Обґрунтування вимог до внутрішнього матеріалу перев'язочних засобів

При визначенні динаміки проходження рідини крізь двошаровий матеріал, необхідно враховувати ефекти при трансфері крізь перший за порядком матеріал. При цьому можуть виникати наступні варіанти трансферу (рис. 4). При зростанні концентрації рідини на границі двох матеріалів за рахунок накопичення рідини в першому матеріалі (на рисунку розташований ліворуч) відповідно зростає концентрація в другому матеріалі, при цьому лікувальна рідина доходить до контакту з тілом (права границя) (рис. 4,а). На цьому етапі другий матеріал повинен забезпечити якнайшвидший трансфер терапевтичної рідини до тіла. При повному наповненні першого матеріалу продовжується трансфер терапевтичної суміші крізь другий матеріал (рис. 4, б). Бажано цей трансфер зробити керованим. Під керуванням цього процесу будемо розуміти незмінність концентрації рідини на внутрішньому контактному шарі. У загальному випадку можлива зміна цієї концентрації за законом, що відповідає оптимальним режимам лікування. У випадку вимоги постійної концентрації, на другому (рис. 4,б) етапі проходження рідини другий шар повинен виступати у якості гальма швидкого трансферу рідини до тіла пацієнта. Третій етап (рис. 4,в) характеризується поступовим зниженням концентрації рідини в першому матеріалі з врахуванням виходу рідини на границі з тілом. Інтенсивність трансферу на цьому етапі повинна поступово знижуватись, забезпечуючи постійність концентрації на межі тіла u_k .

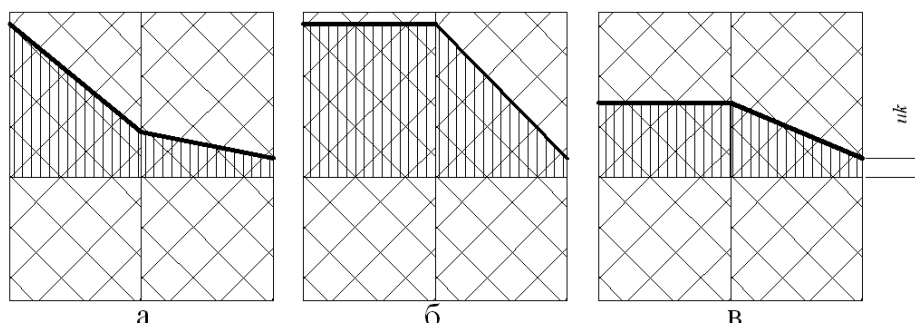


Рис. 4/ Бажана динаміка трансферу рідини крізь другий матеріал

Враховуючи рис. 4 бажану характеристику другого матеріалу можна записати так

$$\frac{u_k + u_1}{2} = u_2$$

Якщо переписати даний вираз у припущеннях, надати умову рівності нулю припущенню на внутрішній поверхні (виконуючи умови постійності концентрації на поверхні шкіри), можна одержати

бажану залежність, що характеризує інтенсивність проникнення рідини крізь другий матеріал (рис. 5).

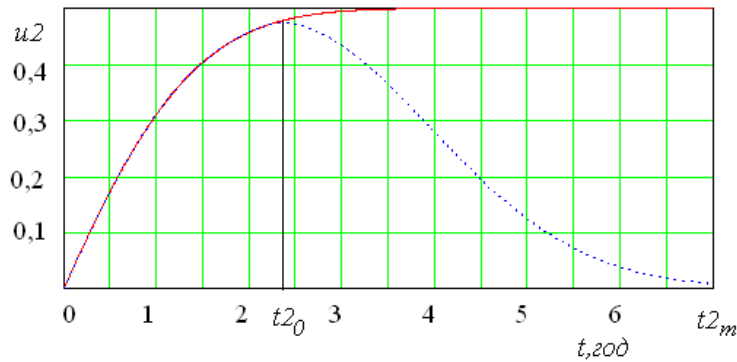


Рис. 5. Бажана діаграма зміни концентрації у другому матеріалі

Одержана залежність дає підстави для визначення двох констант матеріалу, що забезпечують постійне проходження рідини з заданою концентрацією на протязі заданого часу.

Врахуємо далі, що досліджуваний матеріал є у багатьох випадках мікропористим матеріалом, що характеризується середньою густиною і номінальною густиною матеріалу з середнім діаметром пор, що дорівнюють D , середньою відстанню між порами S (рис. 6).

Насправді пори можуть мати різну форму, величину і розташування. Від пористості матеріалу залежить величина рідино проникливості.

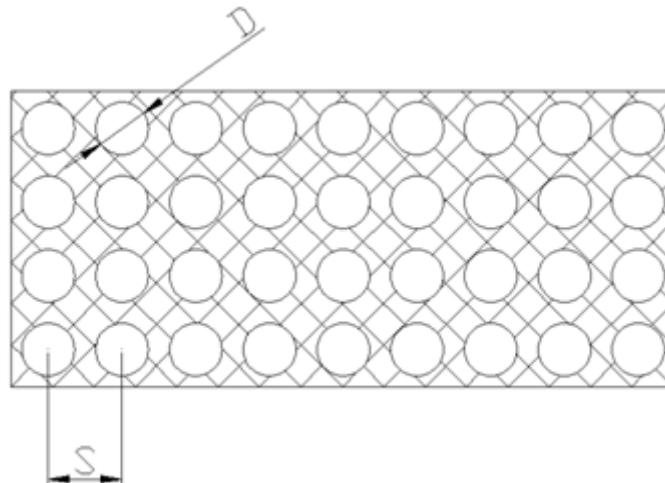


Рис. 6. Схема розташування пор в матеріалі

Треба враховувати, що при збільшенні діаметру пор збільшується швидкість трансферу рідини, відповідно зменшується ефект гальмування, при цьому загальний час трансферу, означений на рис. 5 через t_{2m} , буде знижуватись. Варіація діаметру пор і складу матеріалу може забезпечити необхідне значення цього параметру. Збільшення відстані між порами збільшує також і ефект гальмування трансферу рідини і, відповідно, розташування максимуму t_{20} на кривій рис. 5. Таким чином, врахування діаметру пор, відстані між ними, складу матеріалу дозволяє підібрати матеріал, для якого реальна характеристика трансферу рідини наближується до необхідної для терапевтичних цілей рис. 5.

Наведені результати дозволяють рекомендувати матеріали для забезпечення заданих терапевтичних властивостей, зокрема рекомендувати контактні матеріалу вигляді пористих структур з заданими діаметрами і відстанями між порами.

Висновки

В роботі проведений аналіз трансферу рідини крізь двошарові текстильні композиції, призначені для терапевтичних цілей. Побудовані залежності проходження рідини крізь перший текстильний матеріал дозволили сформулювати вимоги до контактної пористої структури, яким проходить лікувальна рідина. У якості критерію ефективності роботи двошарового терапевтичного матеріалу вибрана постійність концентрації на контактному шарі матеріалу у заданий проміжок часу. Запропонована функція трансферу рідини для забезпечення цього критерію. Розробили практичні рекомендації по вибору матеріалів для ранових покриттів, що забезпечують дану функцію.

Література

1. Bishop W.J. A history of surgical dressings / W.J. Bishop. – Chesterfield : Robinson & Sons Ltd, 1959.
2. Назаренко, Г. И. Рана. Повязка. Большой. Современные медицинские технологии / Г. И. Назаренко, И. Ю. Сугурова, С. П. Глянцев. – М. : Медицина, 2002. – 472 с.
3. Светухин А.М. Гнойная хирургия: современное состояние проблемы / А.М. Светухин, Ю.А. Амирасланов. – М. : Медиа Медика, 2003. – 194 с.
4. Хирургия / гл. ред. Ю. М. Лопухин, В. С. Савельев ; пер. с англ., доп. – М. : ГЭОТАР Медицина, 1997. – 1070 с
5. Теория и практика местного лечения гнойных ран / под ред. Б.М. Даценко. – Киев : Здоров'я, 1995. – 383 с.
6. Wound healing dressings and drug delivery systems: a review / Joshua S. Boateng [et al.] // Journal of pharmaceutical sciences. – 2008. – V. 97, № 8. – P. 2892–2923.
7. Разработка новых биологически активных перевязочных средств и методология их применения [Электронный ресурс] /А. А. Адамян [и др.] // Хирургия. Журнал им. Н.И.Пирогова. – 2004. – № 12. – Режим доступа : <http://www.mediasphera.ru/journals/pirogov/detail/223/3233/.ru>.
8. Suprun, N. P. Modeling of mass transfer processes in textiles / N. P. Suprun // Vlakna a textil. – 2001. – Vol. 2. – P. 125.
9. Рябчиков, М. Л. Нестационарная модель водовбирания текстильными материалами по толщине / М. Л. Рябчиков, В. И. Власенко, С. И. Ковтун // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2009. – № 2 (132). – С. 325–334.
10. Das B., Das A., Kothari V.K., Fanguiero R., Araújo M.D. “Moisture Transmission Through Textiles, Part I: Processes involved in moisture transmission and the factors at play”, AUTEX Research Journal, 7/2, 2007, P. 100–110.
11. Kim J.O. “Dynamic moisture vapor transfer through textiles, Part III: Effect of film characteristics on micro climate moisture and temperature”, Textile Research Journal, 69 /3, 1999, P. 193–202.
12. Biomaterials based on chitin and chitosan in wound dressing applications / R. Jayakumar [et al.] // Biotechnol Adv. – 2011 May-Jun. – Vol. 29, N 3. – P. 322–327.
13. Щуцька Г. В. Метод прогнозування проникнення рідини крізь пористі матеріали / Г. В. Щуцька // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2015. – Vol. 3, № 11(75). – С. 19–23.

Рецензія/Peer review : 9.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 13.12.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Рябчиков М.Л.

А.В. МИЩЕНКО, Д.С. КАЧУК
Херсонский национальный технический университет
В.В. НАЗАРОВА
Херсонская государственная морская академия

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ УРЕТАНОВОЙ ЗАГУСТКИ И УЛУЧШЕНИЕ ЕЕ ПСЕВДОПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

В статье показана возможность повысить безопасность и улучшить псевдопластические свойства загустки на основе полиуретана путем замены системы растворителей твердой полимерной основы в выпускной форме загустителя.

Ключевые слова: загуститель, загустка, полиуретан, растворитель, безопасность, реология.

A.V. MISCHENKO, D.S. KACHUK
Kherson National Technical University
V.V. NAZAROVA
Kherson State Maritime Academy

INCREASING OF THE SAFETY OF URETHANE THICKENER AND IMPROVING OF ITS PSEUDOPLASTIC PROPERTIES

The object of this research was to search for a new safer solvents system for a solid ground of urethane thickener polymer, which would simultaneously provide the improving of pseudoplastic properties of thickener based on it. Rheological behavior profiles of urethane thickeners prepared from thickener polymer solutions in various solvents systems were studied and the correlation between pseudoplastic properties of thickeners and solvents in the mixture for thickener polymer to dissolve and a solution to obtain was exhibited. A solvent system for the thickener polymer ground, which allows to improve the rheological properties of the thickener, increase the solubility of the thickener polymer, increase its concentration in the stock product of thickener, increase safety of thickener and pigment printing systems based on it, as well as the printing technology, was offered.

Keywords: thickener, polyurethane, solvent, safety, rheology.

Постановка проблемы. Загустители в отделочном производстве текстильных предприятий широко применяются для приготовления загусток печатных красок при расцветивании тканей [1].

Ассортимент этих текстильно-вспомогательных веществ существенно ограничен, поэтому поиск новых загущающих веществ остается актуальной задачей [2].

Загущающие вещества применяют избирательно, учитывая особенности свойств красителей, как, например, при печати активными, так и способа их фиксации на волокне, как, например, при использовании пигментов, где необходимо учитывать химическую природу полимерного связующего, с помощью которого на поверхности текстильного материала фиксируется пигмент, и загущающую способность загустителя – она должна быть высокой, чтобы не повышать жесткость пигментированной пленки и не искажать гриф ткани после печати.

Химическая природа загустителя для пигментной печати должна быть, по возможности, близкой связующему. Это условие обеспечивает высокую степень прозрачности полимерной пленки, фиксирующей пигмент, и необходимую интенсивность окраски. В противном случае печать сопровождается формированием на поверхности ткани мутной пленки связующего и снижением интенсивности окраски печатного рисунка. Появившиеся в последнее время связующие – водные дисперсии полиуретанов [3] – обусловили поиски для загущения печатных красок на их основе загустителей с аналогичной химической природой [4].

Одним из первых образцов этого типа веществ был уретановый загуститель, синтезированный на основе лапрола, модифицированного диизоцианатом и жирным спиртом и получившим название Лапрол – ДЗ [5]. Однако исследования этого типа загустителей показали, что последние, имея необходимое сродство к полимеру связующего уретановой природы, требуемую загущающую способность (в готовой загустке содержание сухого вещества не превышало 2,8 % [6]) и обеспечивая мягкий гриф напечатанной ткани, имеют ряд недостатков. Главный из них – загустка не разрушается при низких скоростях сдвига, а на ее реологических кривых наблюдается явление сдвигового загущения – возрастание вязкости при повышении скорости сдвига [7]), в связи с чем при печати имеет место такой вид брака как «непроекатка».

К другим недостаткам следует отнести следующие:

- загуститель содержит органические растворители со сравнительно низким значением предельно допустимой концентрации (ПДК) в воздухе рабочей зоны, что осложняет экологическую ситуацию в печатных цехах;

- низкая концентрация полимера загустителя в его выпускной форме – 25 %.

Первый отмеченный недостаток уретановых загусток вызывает необходимость перед применением проводить их модификацию, улучшающую псевдопластические свойства загусток и исключаящую явление сдвигового загущения.

Научно-обоснованные способы модификации загусток, которые бы обеспечивали загустке необходимые реологические свойства, могут быть предложены на основе теоретических сведений о механизме, вызывающем явление сдвигового загущения.

Рассмотрим возможный механизм сдвигового загущения уретановой загустки под действием напряжения сдвига.

Анализ публикаций. Выявлению причин сдвигового загущения в различных системах посвящено значительное количество работ, несмотря на то, что это явление относительно редкое. Одними из первых сдвиговое загущение наблюдали сотрудники канадской реологической группы [8-9].

Специфическое реологическое поведение авторы наблюдали в растворах полиэлектролитов, которое объяснили конформационными изменениями макромолекул полимеров.

Наиболее подробно изучены дисперсные среды с эффектом сдвигового загущения [10–18].

В дисперсных системах интенсивность эффекта сдвигового загущения в значительной степени зависит от размеров частиц дисперсной фазы [10]. Это подтверждается также в работе [11], авторы которой для объяснения эффекта сдвигового загущения предложили модель системы, основанную на изменении размера поверхности контакта фаз. На этих же идеях основана работа [12].

Работа [13] касается изучения систем, содержащих маисовый крахмал, сдвиговое загущение в которых авторы объясняют изменениями структуры, индуцируемыми течением системы. Однако, в отличие от исследуемых нами систем, сдвиговое загущение исследуемых в [13] системах, не является обратимым.

Авторы работы [14] показали, что на величину эффекта влияют размер частиц, их концентрация и среда.

Изучая обратимое сдвиговое загущение в коллоидных суспензиях кварца, авторы статьи [15] показали, что к сдвиговому загущению приводят гидродинамические эффекты.

При этом установлена обратимая кластеризация частиц при сдвиговом загущении.

Большинство авторов считает, что в поведении потока концентрированных коллоидных суспензий с эффектом сдвигового загущения главную роль играет формирование групп частиц. Авторы [16], однако, считают, что в исследуемых системах протекают более сложные процессы.

На сложность процессов, происходящих в системах, которые обладают сдвиговым загущением, указывают и авторы работы [17]. Авторы [18] считают, что сдвиговый загущающий переход во многом подобен фазовому переходу и не является следствием простой гидродинамической неустойчивости.

Как видно из приведенных работ, процессы, происходящие при течении систем, обладающих сдвиговым эффектом, достаточно сложны и многообразны. Тем не менее, можно из приведенного материала выделить следующие причины сдвигового загущения:

- конформационные изменения макромолекул;
- изменение структуры системы под действием напряжения сдвига;
- кластеризация частиц системы и новая архитектура частиц системы;
- размеры частиц или локальных участков макромолекулы полимера;
- концентрация частиц;
- природа среды.

Эти причины сдвигового загущения могут иметь место в уретановых гелях, поскольку исследуемая загустка является полимерной дисперсной системой. В связи с этим во внимание должны быть приняты, прежде всего, конформационные изменения макромолекул в условиях сдвигового напряжения. Поскольку в текстильной литературе сведения об уретановых гелях отсутствуют, рассмотрим их особенности, обусловленные химическим строением полимера.

Особенности химического строения полиуретанов, обуславливающие часть общей проблемы.

Полимер представляет собой блоксополиуретан, в цепях которого чередуются подвижные гибкие и прочные жесткие блоки. Особенностью полиуретанов является способность к образованию между цепями межмолекулярных связей различной природы и энергии. При этом формируется пространственная сетка связей, где главная роль принадлежит не химическим, а физическим связям [19]. Благодаря этому, а также гибкости макромолекул и отдельных фрагментов макромолекулы, пространственная сетка полиуретанов отличается высокой подвижностью и способностью к перестройке при механическом воздействии без потерь прочности.

Наличие подвижной структуры, по мнению Липатова Ю.С., дает основание рассматривать подобную структуру по аналогии с тексотропными структурами.

При напряжении сдвига в системе происходит перемещение макромолекул относительно друг друга, в результате чего существующая между ними сетка связей разрушается.

В результате перемещения макромолекул и отдельных их фрагментов могут возникнуть предпосылки для возникновения новых связей между макромолекулами.

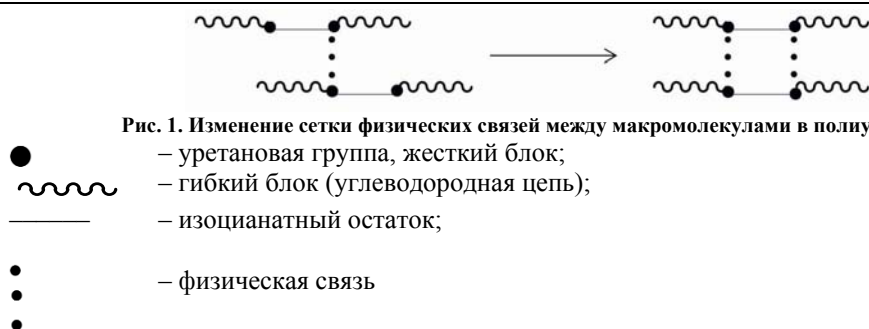
Количество вновь возникших связей может быть большим и для их разрушения потребуется большее напряжение.

На рис. 1 показано возможное изменение сетки связей между макромолекулами полимера, которое может потребовать повышения напряжения сдвига для разрушения загустки при печати.

В уретановых гелях вероятность подобных изменений увеличивается по сравнению с твердыми полимерами и эластомерами.

Образование новой связи между уретановыми группами осуществляется за счет донорно-акцепторного взаимодействия.

С учетом этого сделано предположение о том, что влияние на реологические свойства уретановой загустки можно осуществлять путем ослабления взаимодействия между уретановыми фрагментами.



Описанные схемой на рис. 1 изменения сетки связей между макромолекулами полимера можно представить как образование между ними узлов первого и второго типа (рис. 2).

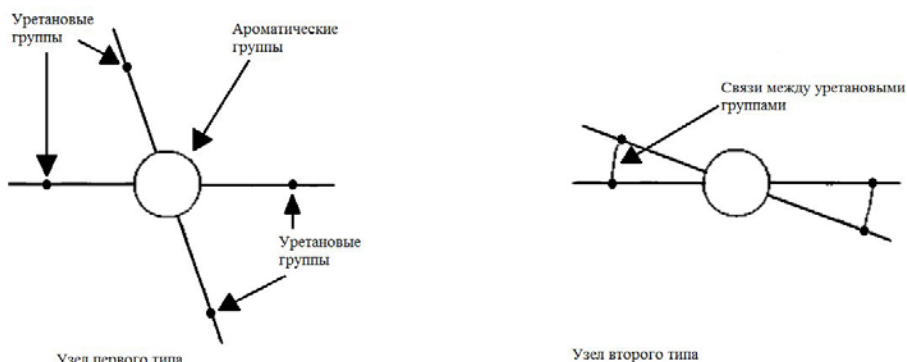


Рис. 2. Типы узлов локализованной сетки уретанового геля

Образовавшийся второй тип узла более прочный, чем первый. Очевидно, что если создать препятствие для реализации зацеплений второго типа, когда одновременно реализуются два типа связей, повышения прочности сетки геля можно избежать и соответственно исключить сдвиговое повышение вязкости системы.

Изложенное выше служит теоретическими предпосылками для выбора способа модификации реологических свойств уретановых загусток. В процессе модификации должна быть исключена способность загустителя к трансформации узлов сетки геля из первого типа во второй. Это можно осуществить разными способами.

Один из способов модификации свойств уретановых загусток – применение солей металлов, способных к образованию координационных связей и блокировке уретановой группы, – показан нами ранее [7].

При взаимодействии ионов металла с уретановыми группами исключается непосредственное взаимодействие между этими группами.

Ослабления донорно-акцепторного взаимодействия уретановых групп макромолекул можно достичь путем поиска более эффективных растворителей для твердой полимерной основы загустителя. При повышении эффективности растворителей полимера должно измениться и реологическое поведение геля.

Целью настоящей работы являлось улучшение псевдопластических свойств уретановых загусток за счет новой системы органических растворителей для твердой основы полимера загустителя, более безопасной в экологическом отношении и позволяющей снизить их расход.

Изложение основного материала

Предметом исследования были растворы и гели блоксополимера, макромолекула которого имеет следующую общую формулу:



где $n = 1-5$.

В макромолекуле блоксополимера имеются уретановые группы, связанные с ароматическим кольцом (фрагмент толуиленизоцианата) $\text{—O—C(=O)—NH—C}_6\text{H}_4\text{—NH—C(=O)—}$, алифатические составляющие $[\text{—CH}_2\text{—}]_n$, а также блоки из окисей этилена и пропилена $[\text{—CH}_2\text{CH}_2\text{—O—}]_k$, $[\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{—O—}]_m$.

Указанные фрагменты характеризуются селективной растворимостью в растворителях, поэтому для получения растворов полимера последний необходимо растворять в смесях растворителей. Наиболее труднорастворимыми участками полимера являются участки, сформированные жесткими фрагментами макромолекул, а именно изоцианатными группами, из чего следует, что прежде всего необходимо повысить эффективность растворения именно этих участков макромолекул. Из числа растворителей использовали: этанол (ТУ 64-11-14-89), гептан (ГОСТ 25824-83), изопропанол (ГОСТ 9805-84); пропиленгликоль (ТУ

563/10.18-0334797-1-90).

Смеси растворителей для растворения блоксополиуретана оценивали по таким характеристикам как молекулярная рефракция и молекулярная поляризация.

Эти характеристики определяли по молекулярной рефракции R и молекулярной поляризации P растворителей, входящих в смесь, с учетом мольной доли каждого растворителя в смеси, а именно:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i X_i \quad (1)$$

и

$$P = \sum_{i=1}^n P_i X_i \quad (2)$$

где R_i – молекулярная рефракция i -го компонента;
 P_i – молекулярная поляризация i -го компонента;
 X_i – мольная доля i -го компонента.
 R_i и P_i – справочные данные.

Значения величины R приготовленных смесей растворителей, в которых имело место растворение полимера, находились в пределах $10,05 \div 14,65 \text{ Кл}\cdot\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{моль})$. Величина P смесей изменялась в пределах $37,82 \div 49,75 \text{ Кл}\cdot\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{моль})$.

Загустку из растворов блоксополиуретана получали методом ухудшения селективной растворимости полимера, а именно, путем добавления к раствору полимера воды из расчета 9 частей воды и 1 часть раствора полимера. При перемешивании происходило застуднение раствора и последний переходил в гель. Этот гель использовали в качестве готовой загустки для реологических испытаний.

Реологические характеристики загусток снимали при температуре 25°C при помощи ротационного вискозиметра «Rheotest 2» (Германия) в диапазоне скоростей сдвига $\dot{\gamma} = 0,02 \div 1,3 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$. Реологические кривые – зависимости вязкости $\eta = f(\dot{\gamma})$ – представляли в логарифмических координатах.

Результаты и обсуждение. В таблице 1 приведены значения вязкости двух уретановых загусток с одной концентрацией загустителя – 10 % и с одной концентрацией сухого полимера в загустке – 2,85 %. Однако раствор загустителя для первой загустки был получен путем растворения полимера в смеси диоксановых спиртов, а вторую загустку получали из смеси полимер:пропиленгликоль:изопропиловый спирт:вода взятых в соотношении 2:3:1:1.

Таблица 1

Скорость сдвига, $\ln$	Реологические характеристики	
	Вязкость загустки на основе растворов блоксополиуретана, $\ln$	
	диоксановые спирты	пропиленгликоль
1,384	2,21	0,84
1,686	2,15	0,83
2,197	2,04	0,81
2,785	1,92	0,79
3,296	1,74	0,78
3,884	1,38	0,59
4,394	1,07	0,27
4,982	0,68	- 0,14
5,493	0,29	- 0,55
6,081	- 0,18	- 1,03
6,592	- 0,62	- 1,46
7,000	- 1,00	- 1,81

Как видно из таблицы, реологические характеристики геля, полученного из загустителей, полимеры которых растворялись в различных растворителях, разные.

Полученные данные обусловили поиски новой системы растворителей, которая была бы эффективной в отношении улучшения аномально-вязких свойств загусток. С этой целью был выбран ряд растворителей с учетом их экологической безопасности и их способности растворять отдельные фрагменты макромолекул блоксополиуретана. Переход полимера из твердого состояния в раствор имел место в тех смесях растворителей, где растворялись все фрагменты макромолекул. Это состояние полимера наблюдали в смесях растворителей этиловый спирт, гептан, вода при соотношениях 8:1:1. Соотношение твердая основа – растворители составляло 1:1.

Проведенные исследования и их анализ позволили предложить более эффективную систему растворителей для получения раствора загустителя, а именно предложить для получения его товарной

формы из твердой основы следующую систему: этанол – гептан – вода в соотношении 8:1:1.

Достоинства предложенной системы заключаются в том, что экологически чистый этанол в пространстве молекулярная рефракция – молекулярная поляризация находится вблизи области растворимости полиуретанового полимера (рис. 3).

Это позволяет увеличить содержание этанола в предложенной смеси до 80 %. Кроме этого, поскольку предложенная система в отличие от базового варианта (пропиленгликоль – изопропанол – вода) полностью охватывает область растворимости полимера, удалось снизить общее содержание растворителей с 75 % до 50 % и удалить из системы пропиленгликоль, который является наиболее опасным из используемых в смеси растворителей.

В базовом варианте соотношение полимер – растворитель составляет 1:2,5, в предложенном – 1:1, т.е. концентрация твердой полимерной основы в выпускной форме загустителя повышена до 50 %.

На рис. 4 приведены реологические кривые загусток, приготовленных из блоксополиуретана,

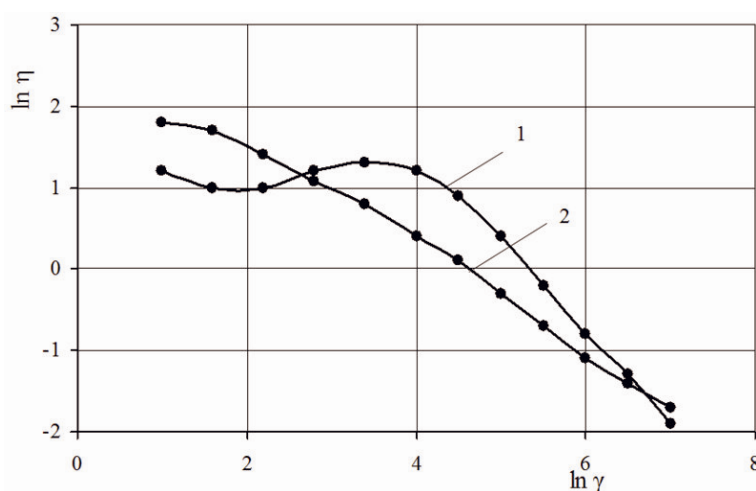


Рис. 4. Реологические кривые загусток, приготовленных из блоксополиуретана, растворенного в различных системах растворителей:
1 – пропиленгликоль:изопропанол:вода (3:1:1);
2 – этанол:гептан:вода (8:1:1)

требуется специальной модификации уретановых загусток и обеспечивает качественную печать на текстильных материалах.

Предложенный состав является более экологически безопасным, что видно из табл. 2, где приведены предельно допустимые концентрации компонентов предложенного и базового составов.

Таблица 2

Предельно допустимые концентрации растворителей в рабочей зоне [20]

Растворитель	ПДК, мг/м ³ в воздухе рабочей зоны
Этанол	1000
Гептан	300 в пересчете на углерод
Изопропанол	10
Пропиленгликоль	4-5

К положительным свойствам предложенной системы растворителей следует также отнести снижение общего содержания растворителей в выпускной форме загустителя.

Выводы. Описан механизм сдвигового загущения загустки на основе полиуретана и предложен один из методов, позволяющих исключить это явление.

Предложена новая система растворителей для растворения твердой полимерной основы загустителя и получения его раствора – товарной формы загустителя.

Новая система включает растворители, которые характеризуются более высокими значениями

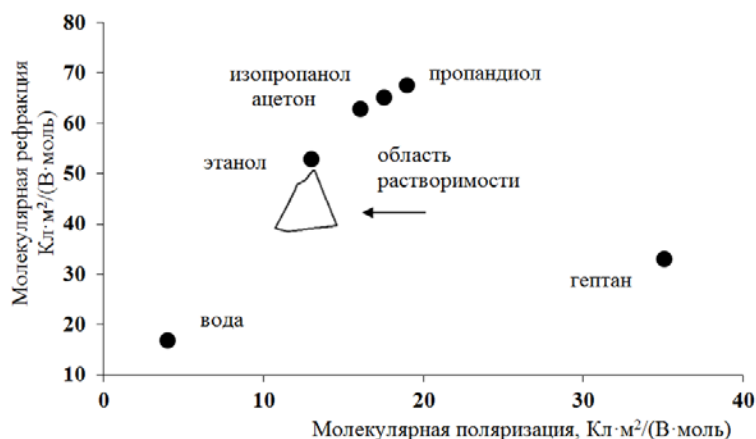


Рис. 3. Область растворимости блоксополиуретана

предельно допустимых концентраций в рабочей зоне, что делает более безопасными условия труда в производственных помещениях печатных цехов.

Предложенная система растворителей обеспечивает улучшение псевдопластических свойств уретановой загустки, повышение концентрации твердой полимерной основы загустителя в его товарной форме, снижение общего расхода растворителей.

Литература

1. Сенахов А. В. Загустки, их теория и применение / Сенахов А. В., Коваль В. В., Садов Ф. И. – Москва : Легкая индустрия, 1972. – 304 с.
2. Алексеева О. В. Новые загустители для печатания хлопчатобумажных тканей пигментными красителями / О. В. Алексеева, О. В. Рожкова, А. Н. Прусов // Текстильная промышленность. – 1995. – № 3. – С. 29.
3. Сухорукова С. А. Синтез и исследование анионоактивных полиуретанов / С. А. Сухорукова, Н. И. Левченко, А. П. Греков, В. А. Храновский // Высокомолекулярные соединения. – 1984. – Сер. А. – Т. 26, № 5. – С. 932–938.
4. Яновская О. В. Использование упронила в качестве загустителя пигментных печатных красок / О. В. Яновская, А. В. Мищенко // Ресурсосберегающие технологии : сб. научных трудов. – К., 1993. – С. 27–28.
5. Антоненко Т. А. Лапрол ДЗ – олигомерный загуститель для водных систем / Т. А. Антоненко // Информационный листок № 116, Серия Р.61.65.09. – Владимир : ЦНТИ, 1993. – 2 с.
6. Мищенко А. В. Структура и механизм реологического поведения полиуретановых гелей, полученных при застудневании / А. В., Мищенко, Н. И. Костыря, Т. А. Антоненко // Украинский химический журнал. – 2000. – Т. 66, № 2. – С. 120–123.
7. Мищенко А. В. Явление сдвигового загущения в полиуретановых гелях и его механизм / А. В. Мищенко, Е. В. Мищенко, Н. И. Костыря // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологий и дизайна. – 2014. – № 1. – С. 13–17.
8. Carreau P. J. A Conformation Model for Polymer Solutions / P. J. Carreau // Supplement to Rheologica Acta. – 1988. – № 29. – С. 91–93.
9. Ait-Kadi A. Rheological Properties of Partially Hydrolyzed Polyacrylamide Solutions / A. Ait-Kadi, P. Carreau, G. Chauveteau // Journal of Rheology. – 1987. – № 31(7). – С. 537–561.
10. Otsubo Y. Size Effects on the Shear-Thickening Behavior of Suspensions Flocculated by Polymer Bridging / Y. Otsubo // Journal of Rheology. – 1993. – № 37(5). – С. 789–809.
11. Hu Y. Rheological and Flow Birefringence Studies of a Shear-Thickening Complex Fluid – a Surfactant Model System / Y. Hu, S. Q. Wang, A. M. Jamieson // Journal of Rheology. – 1994. – № 38(3). – С. 531–546.
12. Boersma W. H. Computer Simulations of Shear Thickening of Concentrated Dispersions / W. H. Boersma, J. Laven, H. N. Stein // Journal of Rheology. – 1995. – № 39(5). – С. 841–860.
13. Dintezis F. R. Shear-Thickening and Flow-Induced Structure In a System Of DMSO Containing Waxy Maize Starch / F. R. Dintezis, E. B. Bagley, F. C. Felker // Journal of Rheology. – 1995. – № 39(6). – С. 1399–1409.
14. Frith W. J. Shear Thickening In Model Suspensions of Sterically Stabilized Particles / W. J. Frith, P. d'Haene, R. Buscall, J. Mewis // Journal of Rheology. – 1996. – № 40(1). – С. 531–548.
15. Bender J. Reversible Shear Thickening In Monodisperse And Bidisperse Colloidal Dispersions / J. Bender, N. J. Wagner // Journal of Rheology. – 1996. – № 40(5). – С. 899–916.
16. Hoffman R. L. Explanations For The Cause of Shear Thickening In Concentrated Colloidal Suspensions / R. L. Hoffman // Journal of Rheology. – 1998. – № 42(1). – С. 111–124.
17. Yavich D. Experimental Studies of an Entangled Polystyrene Solution In Steady State Mixed Type Flows / D. Yavich, D. W. Mead, J. P. Oberhauser, L. G. Leal // Journal of Rheology. – 1998. – № 42(3). – С. 452–461.
18. Hu Y. Shear Thickening In Low-Concentration Solutions of Worm-Like Micelles I: Direct Visualization of Transient Behavior And Phase Transitions / Y. Hu, Ph. Boltenhagen, D. J. Pine // Journal of Rheology. – 1998. – № 42(4). – С. 1211–1235.
19. Липатов Ю. С. Структура и свойства полиуретанов : [монография] / Липатов Ю. С., Керча Ю. Ю., Сергеева Л. М. – Киев : Наукова думка, 1970. – 280 с.
20. Вредные вещества в промышленности / под ред. Н. В. Лазарева, Э. Н. Левина. – Ленинград : Химия. – 1989. – Т. 1. – 590 с.

Рецензія/Peer review : 1.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 13.12.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Валько Н.И.

ОТРИМАННЯ ЦЕЛЮЛОЗИ З ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА ЛУБ'ЯНИХ КУЛЬТУР

З метою створення вітчизняної целюлозовмісної сировинної бази, в роботі розглянуто різні хімічні способи варіння волокнистих напівфабрикатів з відходів переробки луб'яних культур. Проведено аналіз фізико-механічних показників отриманих волокнистих матеріалів залежно від способів та режимів варіння.

Ключові слова: луб'яні волокна, волокнисті напівфабрикати, режими обробки.

D. KRUGLYJ, K. KLEVTSOV

Kherson National Technical University

A. KNIAZEV

State Enterprise "Experimental Facility "Askaniyske"

PRODUCTION OF PULP FROM WASTE FIBER CROPS

Abstract. The paper proposes a method of obtaining fibrous material by alkaline cooking of cellulose starting materials, followed by treatment with alkaline peroxide pretreatment solution or an alkaline urea solution before cooking in the presence of the stabilizer, sodium metasilicate and a surfactant, followed by milling pulmassym. Determined the mutual influence of the main technological parameters: consumption of reagents, temperature, duration of the process, the pH of the environment and the use of a catalyst in the process of obtaining the fiber semi-finished products for chemical processing by different methods delignification of flax raw materials. The analysis of physical and mechanical properties of fibrous materials obtained according to the methods and modes of cooking.

Keywords: bast fibers, fiber intermediates, modes of treatment.

Вступ. Для виробництва целюлози, придатної для хімічної переробки, у світовій целюлозно-паперовій промисловості, в основному, використовують бавовну, хвойну та листяну деревину (переважно ялину і березу).

Враховуючи обмеженість цих ресурсів для України актуальним є розширення сировинної бази целюлозно-паперової та хімічної промисловості за рахунок використання інших видів сировини, в першу чергу однорічних рослин. Розробка ресурсозберігаючих технологій одержання целюлози із однорічних рослин і одержання товарів хімічної промисловості з вітчизняної сировини є важливою науково-технічною задачею.

Такі лубоволокнисті технічні культури, як льон, коноплі, кенаф, джут, складаються з луб'яних волокон та деревної частини (костриці) і, на відміну від бавовняного волокна, мають більший різновид нецелюлозних домішок, які неоднорідні за своєю структурою. Хімічний склад волокна лубоволокнистих рослин значно відрізняється від хімічного складу деревної частини стебла. Луб'яні волокна містять більше целюлози і менше лігніну та пентозанів, ніж костриця та деревина [1, 2]. Оскільки для луб'яних волокон потрібна більш м'яка хімічна обробка, ніж для виділення целюлози із костриці, тому складно отримати якісну целюлозу із технічних культур без значного зменшення міцності волокна.

Незважаючи на те, що хімічний склад костриці близький складу деревини листяних порід, пряме перенесення технології виробництва волокнистих напівфабрикатів з деревини на кострицю неможливий [3].

У технології переробки лляної костриці є свої особливості, які визначаються її властивостями (низька об'ємна вага, більш коротке волокно). З урахуванням цих особливостей в роботі пропонувані нові технологічні режими переробки лляної костриці для отримання різних видів целюлозних напівфабрикатів.

Аналіз останніх досліджень. Так, наприклад, у Австралії із лляної целюлози одержують спеціальні види паперів для банкнот, акцій, фільтрів, пакетиків для чаю, у США та Канаді соломі льону-довгунця переробляють у целюлозу для виробництва документного, для банкнотного, цигаркового паперу та паперу для авіапошти, у Британській Колумбії – для виробництва емісійного та словникових паперів, в Єгипті – у композиції різних видів паперів.

У Канаді та Аргентині, де вирощують льон і коноплі, з костриці виробляють целюлозу для картону та обгорткового паперу [4].

Українська целюлозно-паперова промисловість льон як сировину для виробництва целюлози, паперу та картону не використовує.

Експериментальна частина. Хімічна обробка лляної костриці за лужним способом містить в якості хімічних реагентів їдкий натр, сульфід і сульфат натрію.

Шляхом лужного варіння вихідної целюлозовмісної сировини; обробкою лужно-перекислим розчином або попередньою обробкою лужним розчином сечовини перед варінням в присутності стабілізатора, метасілікату натрію, і поверхнево-активної речовини (ПАР) з подальшим полумасним помелом.

Застосування попередньої екстракції в лужному розчині з добавками ПАР дає можливість вести варіння в тому ж розчині без додаткового введення луку. Це відбувається за рахунок того, що поверхнево-активна речовина має сильну змочувальну дію, що сприяє більш повному і швидкому емульгуванню

воскоподібних речовин із лляної костриці або іншої целюлозовмісної сировини і їх видалення.

Схема технологічного процесу виробництва волокнистих напівфабрикатів представлена на рис. 1.

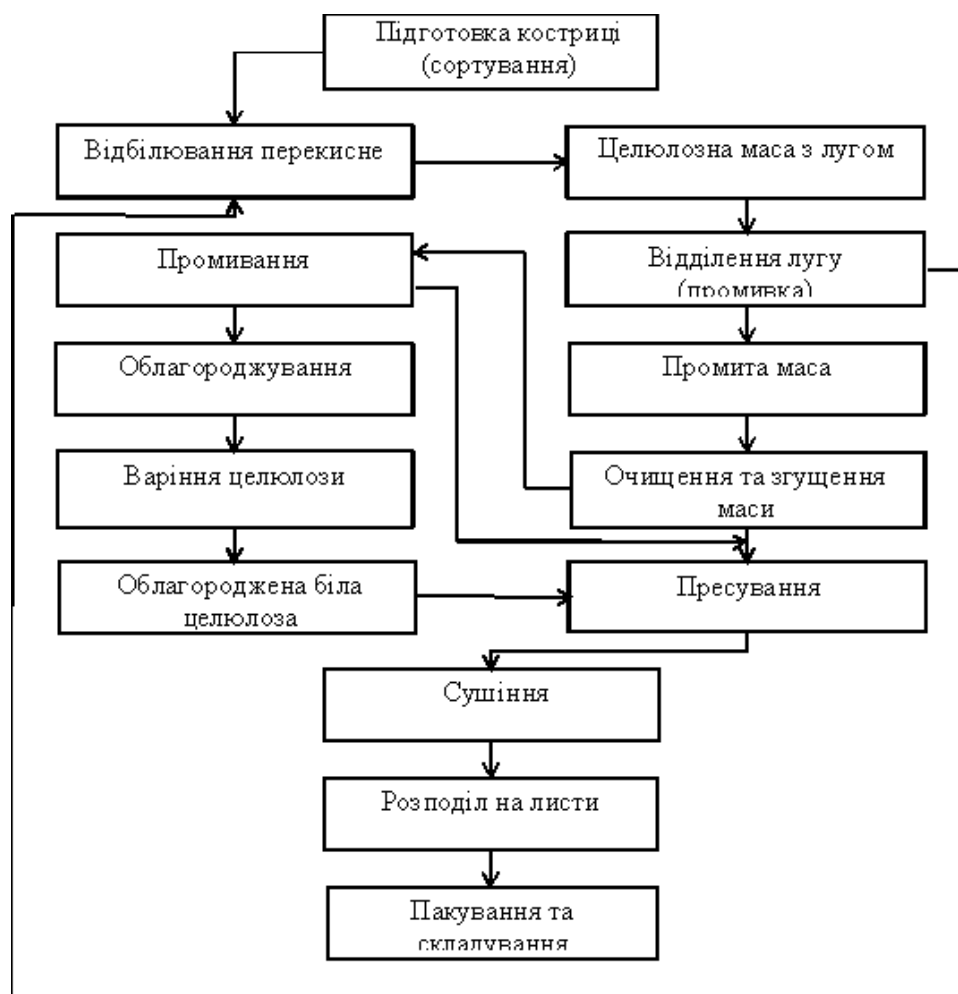


Рис. 1. Схема технологічного процесу виробництва волокнистих напівфабрикатів

Технологія отримання целюлози за натронним, сульфітним і сульфатному способам складається з наступних стадій:

- 1) підготовка костриці, зберігання, сортування і завантаження;
- 2) приготування варильного розчину;
- 3) варіння костриці;
- 4) відділення від технічної целюлози відпрацьованого чорного луку, промивка;
- 5) очищення, зневоднення і сушка.

Після закінчення технологічного процесу варіння лляної костриці визначається вихід отриманої целюлози, який знаходиться в межах 32–45%.

Випробування механічних властивостей целюлози проводяться після розмелювання в стандартному розмельному апараті до певної міри помелу, яка визначається на вимірнику до 60°ШР протягом 15 хв.

Потім волокнистий напівфабрикат відливають на листовиливному апараті. Якість отриманих виливків визначають за фізико-механічними показниками табл. 1, 2.

Таблиця 1

Фізико-механічні показники целюлозовмісних матеріалів, отриманих за різними способами варіння

Спосіб варіння	Фізико-механічні характеристики			
	розривна довжина, м	злам (кількість подвійних перегинів)	продавлювання, кг/см ²	роздирання, г
Натронний	5300	228	2,5	116
Сульфатний	5096	212	2,6	112
Сульфітний	4811	120	2,6	104

Таблиця 2

Фізико-механічні показники волокнистих матеріалів, отриманих за натронним способом варіння

Найменування	Склад розчину		
	натронний	натронний з барвотексом 5	натронний з барвотексом 30
Товщина, мкм	137	146	139
Злам (кількість подвійних перегинів)	26	8	8
Продавлювання, кг/см ²	246	181	192
Розривна лінія, м	5130	4913	4758
Подовження, %	2,78	2,50	2,20
Роздирання, г	33	32	32
Вихід, %	42,1	43,2	44,0
Число Каппа	90,0	95,3	98,1

На рис. 2 представлена технологічна схема процесу варіння целюлози в апараті "Камюр". Костриця (11) подається в апарат за допомогою стрічкового конвеєра, дозатор (9) регулює її подачу, а живильник низького тиску завантажує в пропарювальний апарат (7).

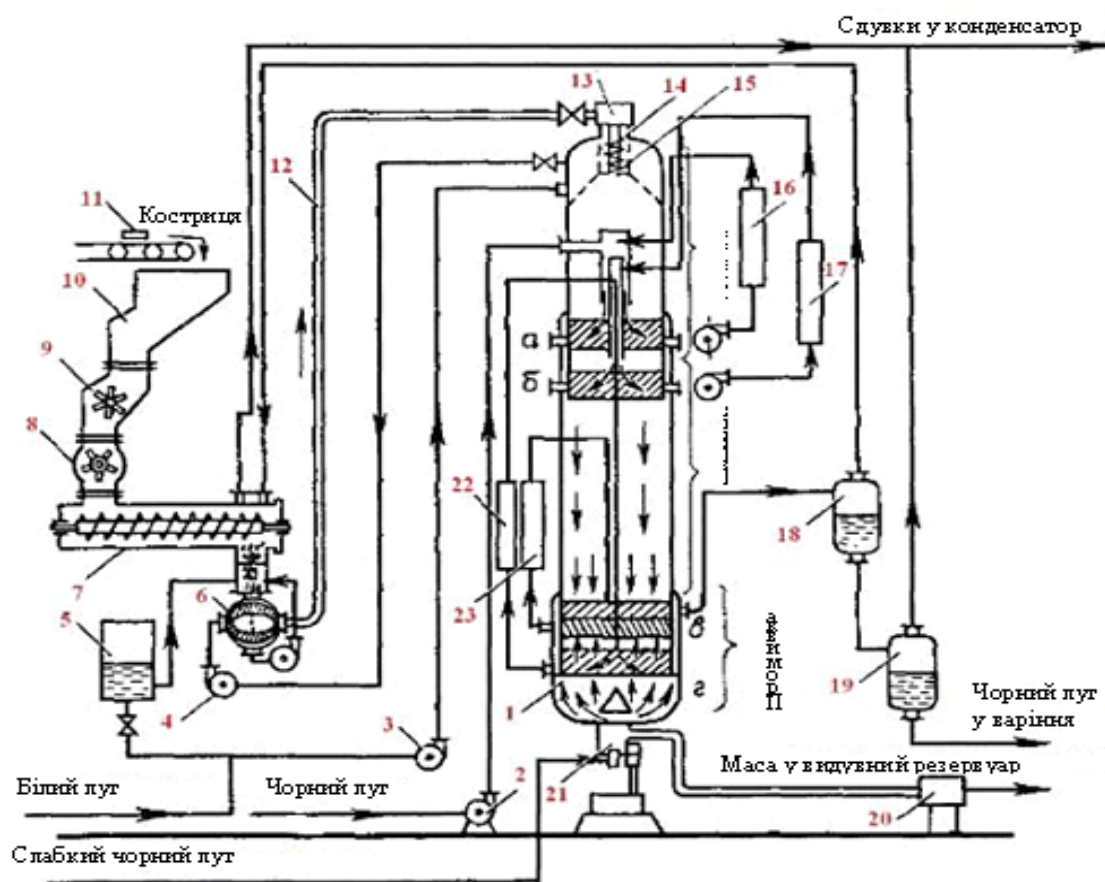


Рис. 2. Технологічна схема варильного апарату Камюр:

1 – варильний бак; 2, 3, 4 – циркуляційні насоси; 5 – резервуар чорного луґу; 6 – живильник високого тиску; 7 – пропарювальна апарат; 8, 9 – дозатори; 10 – завантажувальний бункер; 11 – сировина; 12 – нагнітальна магістраль; 13 – завантажувальний пристрій; 14 – шнековий живильник; 15 – конусна сітка; 16, 17 – теплообмінники; 18, 19 – циклон-випарники; 20 – вдувний пристрій; 21 – розвантажувальний пристрій; 22, 23 – теплообмінники.

У пропарювальному апараті відбувається обробка костриці гострою парою через перфоровану стінку. Температура пара в пропарювальному апараті 105–120°C, пар подається з циклонів-випарників (18 і 19) відпрацьованих луґів. Ротор просуває кострицю до завантажувального патрубку живильника високого тиску (6). Живильник високого тиску подає її під тиском луґу з насосів в нагнітаючу магістраль (12).

Завантажувальний пристрій (13) шнекового типу (14) з перфорованою стінкою подає вологу кострицю в верхню частину варильного апарату. При цьому слабкий луґ віджимається гвинтом через перфоровані стінки і відкачується насосом (4) до живильника високого тиску. Костриця плаває у верхній, "заварочній" частині апарату до тих пір, поки не просочиться луґом до щільності, більшої, ніж щільність луґу. Температура у верхній частині апарату 110–115°C. За висотою вздовж апарату розташовані чотири сітки для запобігання потрапляння великих елементів костриці в нижню частину колони.

За висотою колони відбувається поступовий підйом температури від 105 до 170°C. Для запобігання зсуву температур за зонами, закипання варильного розчину пригнічується високим тиском в апараті (близько 12 атм.).

Для підтримки високої температури в різних зонах апарату застосовується циркуляція лугу через теплообмінники (16, 17, 22, 23), де він підігрівається перегрітою парою.

Частина відпрацьованого лугу відправляється перед останнім елементом, що фільтрує і направляється в циклон-випарники, після чого йде на регенерацію.

Для розведення провареної маси і її початкової промивки використовується слабкий чорний луг, який подається в нижню частину апарату в області розвантажувального пристрою. Розвантажувальний пристрій (21) служить для безперервного зливу реакційної маси в видувний резервуар.

На шляху в видувний резервуар, маса проходить через видувний пристрій (20), який представляє собою сопловий кінцевик, що запобігає різкому спаду тиску в котлі. Концентрація целюлози в розвантажувальній масі становить всього близько 14-16%.

Наприклад, для отримання нейтрально-сульфітної напівцелюлози з виходом 75–80% фірма "Камюр" рекомендує спрощену модель апарату "Камюр" продуктивністю 15–30 т на добу.

У спрощеній моделі апарату Камюр сировина з бункера проходить витратомір і надходить в живильник низького тиску, а звідти в камеру для пропарювання. В ній проводиться коротке (протягом 3-4 хв) пропарювання парою низького тиску (1,0-1,05 атм.), яке сприяє видаленню повітря з костриці і подальшим рівномірним просоченням її варильним розчином. Тривале пропарювання може привести до передгідролізу і втрати геміцелюлоз. З пропарювальної камери костриця надходить трубопроводом до живильника високого тиску. У цей трубопровід подається свіжий варильний розчин. Туди ж подається пар високого тиску.

Живильник являє собою ротор кишенькового типу, що обертається в стаціонарному кожусі. Коли живильник знаходиться у вертикальному положенні, через нього в апарат надходить сировина і варильний розчин, а в горизонтальному – пара високого тиску. Для охолодження звареної костриці перед її вивантаженням подають слабкий луг, що надходить з першого промивного фільтра. При застосуванні безперервної варильної установки допоміжне обладнання і пристосування встановлюють не на перекриттях будівель, а на самому апараті. Це призводить до зменшення капіталовкладень при будівництві нових підприємств.

Звідси випливає, що у варильних апаратах безперервної дії, що працюють під тиском, основною умовою роботи є надійні і регульовані завантаження і вивантаження, які і визначають потужну працездатність варильного апарату.

Принципова схема вироблення напівцелюлози для картону і пакувального паперу з однорічних луб'яних рослин з малою витратою лугу при атмосферному тиску пропонується наступною: живильник, просочувальна труба (зі стандартних елементів варильного апарату ЛенНІІ Хіммашу), кілька ступенів промивки в пресах, можливо, з проміжним дисковим рафінером і масним басейном. Скорочення часу просочення костриці лугом досягається підвищенням тиску за допомогою преса, встановленого безпосередньо після просочувальної труби.

Промивання в пресах напівцелюлози виходу до 75% і промивка в пресах з циркуляцією слабого лугу для напівцелюлози виходу 85,5% дозволяє регенерувати 75–80% всього лугу при концентрації чорного лугу 9-15% а.с.р. в залежності від виходу напівцелюлози. Така концентрація в свою чергу дозволяє економно випаровувати луг до 50–55% а.с.р. і цей концентрат відправляти в залізничних цистернах у вигляді рідкого каустику, що містить органічні речовини, для використання на целюлозному заводі, що має регенераційні установки.

Таблиця 3

Нормовані показники якісних характеристик натронної целюлози

№ з/п	Найменування показника	ОБ-1 Вища категорія якості	Метод випробування
1.	Механічна міцність при розмелі в млині ШПА до 60° ШП і масі 1 м ² : відливка 75 г: розривна довжина, м, опір роздиранню, сН/гс, не менше	6800 39/40	ГОСТ 13525.1-79 ГОСТ 13525.3-78
2.	Білизна, %, не менше	84	ГОСТ 7690-78
3.	рН водної витяжки	5,5-7,0	ГОСТ 12523-77
4.	Засміченість, число сміття на 1 м ² листа: площею від 0,1 до 1,0 мм ² , не більше площею від 1,0 до 2,0 мм ² , не більше площею понад 2,0 мм ²	35 3 не допускає	ГОСТ 14363.3-84
5.	Вологість, %, не більше	25,0	ГОСТ 16932-82

**Нормовані показники якісних характеристик целюлози
для паперу санітарно-гігієнічного призначення**

№ з/п	Найменування показника	Ж-5	Метод випробування
1.	Ступінь делігніфікації, %, не більше	27	ГОСТ 10070-74
2.	Розривна довжина, м, не менше	6500	ГОСТ 13525.1-79
3.	Міцність на злам (кількість подвійних перегинів), не менше	800	ГОСТ 13525.2-80
4.	Масова частка смол і жирів, %, не більше	1,5	ГОСТ 6841-77
5.	Засміченість – розрахункове число сміття на 1 м ² листа	1,5	ГОСТ 14363.3-84

Висновки. В результаті досліджень встановлено оптимальні умови отримання напівцелюлози з виходом 60-62% при варінні без надлишкового тиску і при температурі 90–100°C, витрата їдкого натру 6-7%, тривалість обробки 70 хв.

Отримана напівцелюлоза містила 12,2% лігніну, 20,1% пентозанів, 1,5-2,2% золи, в тому числі солей кремнію 47%.

Показники якості натронної целюлози відповідають нормам, зазначеним у табл. 3, 4.

Целюлозу, одержану за натронним способом варіння з костриці льону можна застосовувати для наступних марок паперів ГОСТ 14940-75: ОБ-1 – для використання у вигляді добавок для додання спеціальних властивостей в композиції паперів; фільтрувальних для очищення дизельного палива та ін нафтопродуктів, протиадгезійної основи мелування, транспортер підкладки для формування керамічної стрічки, синтетичного шпону, основи для декоративних шарів облицювальних матеріалів; ГОСТ 6501-82: Ж-5 – для паперу санітарно-гігієнічного призначення.

Література

1. Соболев М.А. Химия льна и лубоволокнистых материалов / Соболев М.А. – М. : Гизлеспром, 1963. – 120 с.
2. Даревский Ю.С. Изучение химии процессов получения льняной целлюлозы / Ю.С. Даревский, В.И. Ходырев, М.В. Латош, М.А. Кушнер // Химия древесины. – 1985. – № 5. – С. 38–42.
3. Клевцов К.Н. Ресурсосбережение в отрасли первичной переработки лубяных культур / К.Н. Клевцов, Л.А. Чурсина, А.А. Решетей // Ресурсосберегающие технологии в первичной переработке натуральных волокон : сб. науч. тр. – К. : УкрИНТЭИ. – 1995. – С. 5–8.
4. El-Kalyoubi Samira P., Shukry Nadin, A. Fadi Naim. Paper sheets from blended wood pulp with Egyptian flax and okra stalks pulps // Res.and Ind. – 1987. – V. 32, № 4. – P. 282–285.

Рецензія/Peer review : 14.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 13.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор Л.А. Чурсина

І.М. СИЛКА, Н.Е. ФРОЛОВА
Національний університет харчових технологій

КОМП'ЮТЕРНА ПРОГРАМА РОЗРАХУНКУ ГАЗОХРОМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ УТРИМУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ ЕФІРНИХ ОЛІЙ

У статті представлена комп'ютерна програма для визначення логарифмічного параметру утримування (індексу Ковача) за результатами газової хроматографії. Програма розроблена у середовищі Visual Basic на основі створеного алгоритму, що відповідає математичним розрахункам індексу Ковача і забезпечує високу точність та відтворюваність результатів.

Ключові слова: газова хроматографія, індекс Ковача, ефірні олії, Visual Basic.

IRINA SILKA, NATALIYA FROLOVA
National University of Food Technologies

COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATING OF CHROMATOGRAPHIC PARAMETERS FOR COMPONENTS OF ESSENTIAL OILS

To create new food flavours with essential oils and their manufacturing should carry identification its components. Gas chromatography is a common type of chromatography used in analytical chemistry for separating and analyzing compounds. With so many variables, gas chromatography like a art in which one has no hope of being able to compare results from one instrument to the next or one lab to the next. This computer program for determining the logarithmic retention parameter (index Kovacs) according to results of gas chromatography. The program was developed in the environment Visual Basic. The program is an algorithm of mathematical calculation index Kovacs and provides high accuracy and reproducibility. The program allows to automate the determination of parameters retention unknown substance. identification of components essential oils allow create new flavour and produce in industrial quantities

Keywords: gas chromatography, Kovacs retention index, essential oils, Visual Basic.

Вступ

Носієм натурального аромату є ефірні олії, кількість компонентів в яких іноді нараховує декілька сотень ароматичних речовин. Однак задля створення нових харчових ароматизаторів з ефірних олій [1] та впровадження їх у виробництво необхідно здійснити ідентифікацію її складових. Одним з найбільш ефективних способів є газова хроматографія. Загальний підхід до ідентифікації в газовій хроматографії полягає в порівнянні сукупності сигналів речовини, що вивчається, з аналогічними сигналами еталона. Основою для ідентифікації речовини в газовій хроматографії є звичайно час появи сигналу чи функція цієї величини, яка меншою мірою залежить від умов проведення аналізу.

Час утримування (t_R) – це проміжок часу який складається з часу перебування молекул досліджуваної речовини у вільному незаповненому об'ємі колонки та часу протягом якого вони рухаються уздовж шару сорбенту.

Джерелом похибки визначення величин утримування є нестабільність температури колонки і швидкість газу-носія. Це спонукало вчених ввести індекси утримування, які є інтерполяційними величинами утримування і характеризують момент елювання максимуму зони досліджуваної речовини в проміжку між моментами виходу двох стандартів. Найбільш поширеним є логарифмічна форма інтерполяційної характеристики утримування, при використанні в якості стандартів двох n-алканів з числом вуглецевих атомів в молекулах z та $z+1$. Така форма була запропонована Ковачем і названа індексом Ковача.

Індекс утримування по Ковачу (ІК) для невідомої речовини I_i визначають логарифмічною інтерполяцією між часами утримування двох n-алканів

$$I_i = 100z + 100 \frac{\lg t'_{Ri} - \lg t'_{Rz}}{\lg t'_{R(z+1)} - \lg t'_{Rz}}, \quad (1)$$

де t'_{Rz} – виправлений час утримування n-алкану з z атомами вуглецю; $t'_{R(z+1)}$ – виправлений час утримування n-алкану з $z+1$ атомами вуглецю; t'_{Ri} – виправлений час утримування досліджуваної речовини. При цьому потрібно дотримуватися умови: $t'_{R1} < t'_{R} < t'_{R2}$.

ІК є універсальним і застосовується у якісному аналізі складних сумішей, оскільки найменше залежить від роботи хроматографа. Літературні значення індексів утримування для органічних сполук різних класів та їх складових, в тому числі й компонентів ефірних олій, табульовані та опубліковані у довідниках [2]. Тобто ідентифікувати досліджувану речовину можна за значенням її ІК.

Однак визначення ІК займають багато часу, а висока достовірність значень ІК може бути досягнута лише за власних досліджень, за чітко встановленими умовами газохроматографічного аналізу, вибором реперних речовин і стабільним співвідношенням з речовинами зразку.

Експериментальна частина

Існують програми визначення параметрів утримування, які є додатком до сучасних газових хроматографів і працюють у комплексі з хроматографом [3] та призначені для лабораторних систематичних

досліджень однотипних речовин. Однак у випадку відсутності подібної програми, неможливості її підключення до приладу або складності відтворення умов проведення для певного класу речовини варто визначати ІК самостійно. Саме ця обставина зумовила розроблення алгоритму та комп'ютерної програми визначення ІК для ідентифікації компонентів ефірних олій.

В якості стандарту обрано гомологічний ряд насичених вуглеводнів. ІК н-алканів, згідно визначенню [4], мають наступні значення: $I_{\text{метан}}=100$, $I_{\text{етан}}=200$, $I_{\text{пропан}}=300$, $I_{\text{бутан}}=400$, ..., $I_{\text{нонан}}=900$ і т. д. До стандартної суміші у рівних масових співвідношеннях увійшли: октан, нонан, декан, ундекан, додекан, тридекан, тетрадекан з інтервалом кипіння від 125,7 до 252,5 °С. У табл. 1 наведено фізико-хімічні властивості насичених вуглеводнів гомологічного ряду (алканів).

Таблиця 1

Фізико-хімічні властивості насичених вуглеводнів

Насичені вуглеводні	Формула	Молекулярна маса	Густина при 20°C, г/см ³	Температура кипіння, °C	Індекс Ковача
Октан	C ₈ H ₁₈	114	0,703	125,7	800
Нонан	C ₉ H ₂₀	128	0,718	150,8	900
Декан	C ₁₀ H ₂₂	142	0,730	174	1000
Ундекан	C ₁₁ H ₂₄	156	0,738	195,8	1100
Додекан	C ₁₂ H ₂₆	170	0,742	214,5	1200
Тридекан	C ₁₃ H ₂₈	184	0,753	234	1300
Тетрадекан	C ₁₄ H ₃₀	198	0,757	252,5	1400
Пентадекан	C ₁₅ H ₃₂	212	0,765	270,5	1500

Для розробки комп'ютерної програми використано модельну суміш ароматичних речовин, характерних для промислових ефірних олій. Склад модельної суміші наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Склад та фізико-хімічні властивості модельної суміші

Назва ароматичної речовини	Вміст в суміші, % мас	Температура кипіння, °C
3	2	3
α-пінен	9,95	155,0
мірцен	10,10	166,0
β-пінен	9,90	163,0
d-лімонен	10,20	177,0
l-ліналоол	10,50	199,0
ліналілацетат	10,35	220,0
дигідрокарвон	10,87	-
d-карвон	8,58	230,0

Розрахунки ІК для подальшої ідентифікації рекомендують проводити аналітичними методами, суть яких полягає в визначенні індексу утримання математичним шляхом за формулою (1). Для цього за однакових хроматографічних умов проводять аналіз стандартної та досліджуваної (в нашому випадку модельної) сумішей легких речовин. При подальшій обробці отриманих хроматограм, а саме їх «накладанні» одна на одну стає видно між якими компонентами стандартної суміші елюється кожна ароматична речовина. Це дозволяє підставляти відомі значення параметрів утримування у формулу (1) та знаходити розрахункові значення ІК.

На рис. 1 наведено блок-схему послідовності і спрямованості наукових досліджень по розробці комп'ютерної програми розрахунку газохроматичних параметрів утримування, а саме ІК.

З огляду на складність розрахунку та багаторазовість його проведення нами запропонована комп'ютерна програма розрахунку констант Ковача в середовищі Visual Basic.

Visual Basic – це інструментальна система, призначена для розроблення програм, які працюють під операційною системою Windows [6]. Вона являє собою інтегроване середовище, яке забезпечує можливість розроблення графічного інтерфейсу, створення та налагодження програмних модулів, керування багатомодульними проектами. Окрім того, Visual Basic надає ще низку сервісних можливостей, які дають змогу автоматизувати розроблення та налагодження програми.

Використання Visual Basic надає зручні засоби для створення графічного інтерфейсу і звільняє розробника від рутинних проблем програмування операцій вводу-виводу.

Алгоритм програми, наведений на схемі працює наступним чином:

1. „Початок” – запускається програма.
2. Введення значень часу утримування компонентів стандартної суміші алканів.

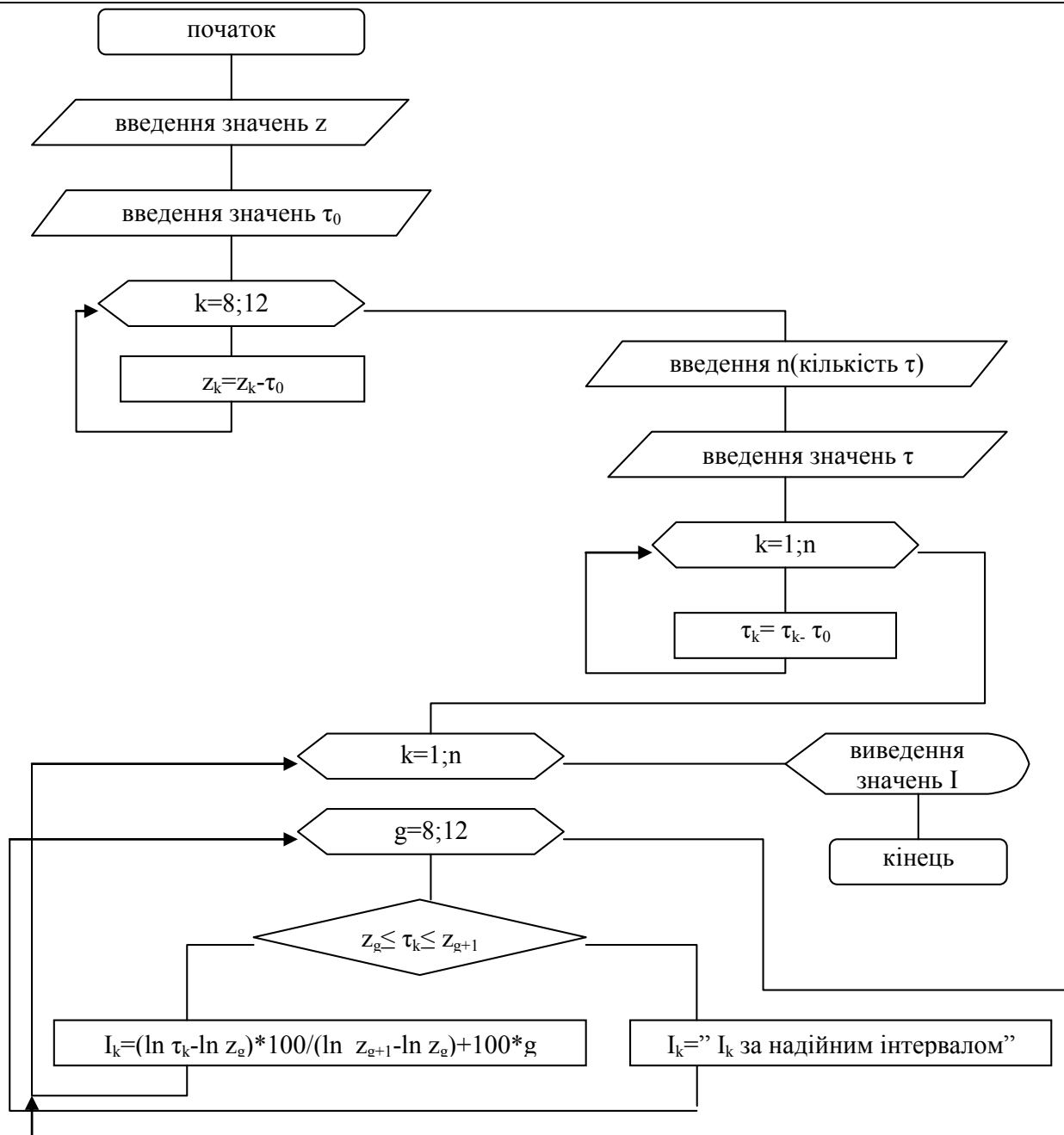


Рис. 1. Алгоритм розрахунку констант Ковача

3. Введення значень утримування газу, що не адсорбується (метану).
4. Введення кількості компонентів стандартної суміші алканів.
5. Розрахунок значень виправленого часу утримування компонентів стандартної суміші алканів за формулою.
6. Введення кількості компонентів суміші, яку аналізуємо.
7. Введення значення часу утримування компонентів суміші, яку аналізуємо.
8. Встановлення межі зміни кількості компонентів суміші, яку аналізуємо.
9. Розрахунок значень виправленого часу утримування компонентів суміші що аналізується за формулою (1).
10. Введення кількості компонентів суміші, яку аналізуємо.
11. Введення кількості компонентів стандартної суміші алканів.
12. Встановлення чи знаходиться час утримування компонентів суміші, що аналізується, в межах двох суміжних алканів;

Якщо „так” – розраховуємо за формулою (1) значення ІК для першого компоненту та для наступних, потім дані розрахунку виводяться на екран.

Якщо „ні” – значить значення ІК лежить за «надійним інтервалом» знову повертаємось до пункту 12.

Якщо знову „ні” – дані про знаходження ІК за „надійним інтервалом” виводяться на екран.

Поняття „надійного інтервалу” передбачає межі елюювання компонентів стандартної суміші та

залежить від її компонентного складу. В даному випадку це значення часу утримування від першого (метану) до останнього (пентадекану) алкану, які виходять з колонки і реєструються на хроматограмі.

У разі не потрапляння досліджуваної речовини в «надійний інтервал» не можливо визначити її ІК. Це може значити, що даний сигнал випадковий, або стандартна суміш підібрана таким чином, що не враховує всіх можливих ароматичних речовин. Для цього потрібно впевнитися, що це не похибка приладу, а потім розширити ряд алканів, додавши членів гомологічного ряду з більшою (меншою) молекулярною масою.

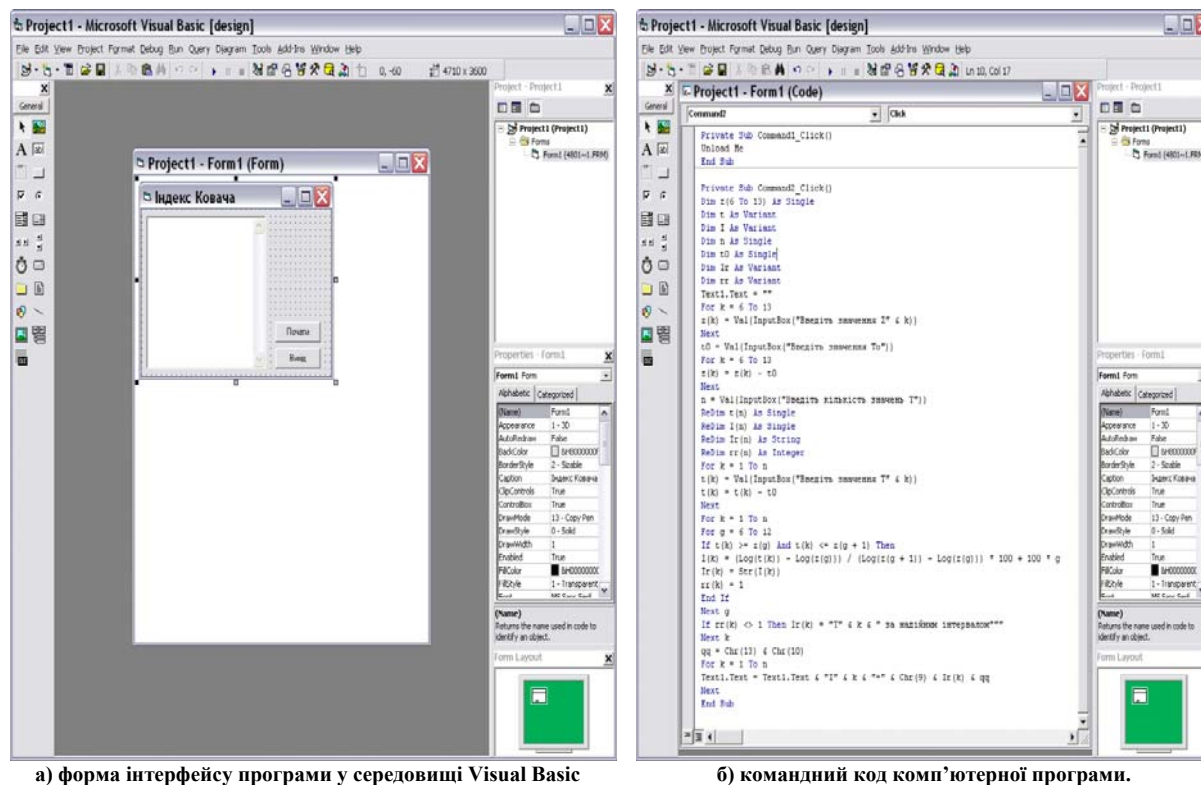


Рис. 2. Робочі вікна програми визначення ІК

Наступним кроком є розроблення комп'ютерної програми для розрахунку констант Ковача в середовищі Visual Basic. На рис. 2-а представлено форму інтерфейсу, за допомогою якої вводяться результати хроматографічного аналізу. На рис. 2-б представлено командний код, за яким працює програма, складений за алгоритмом (рис. 1), який було розглянуто вище.

Нижче наведено ІК компонентів модельної суміші, розраховані за допомогою комп'ютерної програми (табл. 3).

Таблиця 3

ІК модельної суміші.

№ п/п	Назва ароматичної речовини	Індекс Ковача
1	α -пінен	878
2	β -пінен	1004
3	мірцен	963
4	d-лімонен	1020
5	l-ліналоол	1044
6	дигідрокарвон	1191
7	d-карвон	1201
8	ліналілацетат	1208

Запропоновані нами підходи встановлення значень ІК не можуть повністю замінити існуючі методи визначення. Однак проведені дослідження цілком можна використовувати не тільки при вивченні ефірних олій, їх фракцій і ароматизаторів, а й при ідентифікації компонентів інших сумішей речовин при досить малих кількостях досліджуваних речовин, аналізованих методами газової хроматографії.

Висновки

Газова хроматографія один з головних способів ідентифікації складових ефірних олій, які є багатокомпонентними сумішами. ІК вважається сталим параметром утримування досліджуваної речовини і прирівнюється до фізико-хімічних її характеристик, за якою можлива ідентифікація останньої.

Для спрощення математичних розрахунків даної величини розроблено програму у середовищі Visual Basic, яка працює під операційною системою Windows. Складено відповідний алгоритм визначення ІК та створено командний код комп'ютерної програми, що дозволяє користувачу вводити дані хроматографічного аналізу в спеціально створені вікна інтерфейсу.

Розроблена програма надає змогу автоматизувати визначення параметрів утримування невідомої речовини, яку в подальшому ідентифікують за результатами отриманих значень.

Література

1. Фролова Н.Е. Технологія натуральних ароматизаторів орієнтованих на вітчизняну сировинну і апаратурну базу / Н.Е. Фролова, І.М. Силка // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ": Нові рішення в сучасних технологіях. – 2015. – Vol. 46. – ISSN 2079-5459.
2. Shellie R. "Characterisation of lavender essential oils by using gas chromatography–mass spectrometry with correlation of linear retention indices and comparison with comprehensive two-dimensional gas chromatography". Journal of Chromatography A 970.1 (2002): 225–234.
3. Janssens Guido. "Calculation of retention indices in programmed-temperature gas chromatography by improved linear interpolation". Analytica Chimica Acta 95.2 (1977): 153–159.
4. Хайвер К. Высокоэффективная газовая хроматография / Хайвер К. – М. : Мир, 1993. – 283 с.
5. Басков Н.Н. Visual basic for applications : [учебный практикум] / Н.Н. Басков, А.Р. Лебединская. – Ростов-на-Дону : РГТЭУ, 2008. – 83 с.
6. Rohloff Jens. "Monoterpene composition of essential oil from peppermint with regard to leaf position using solid-phase microextraction and gas chromatography/mass spectrometry analysis". Journal of agricultural and food chemistry 47.9 (1999): 3782–3786.

Рецензія/Peer review : 19.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 13.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Гуць В.С.

УДК 671.1:7.012

М.С. ВИННИЧУК, М.В. КОЛОСНІЧЕНКО, В.О. МУСІЄНКО, А.Ю. АНТОНЮЖЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ ПРИНЦИПІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ

В статті на основі аналізу існуючих ювелірних виробів-трансформерів визначені функції їх елементів та встановлено відповідність між ними й базовими принципами трансформації, які формуються за функціональними ознаками і засобами з'єднання елементів ювелірних виробів.

Ключові слова: ювелірні вироби, елементи на основі принципів трансформації, підвісок, обійма, кольє, тіара, кулон, основина, обідок, перстень.

M.S. VYNNYCHUK, M.V. KOLOSNIICHENKO, V.O. MUSIENKO, A.Y. ANTONYUZHENKO

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

DESIGN PROJECTION JEWELRY ON THE PRINCIPLE TRANSFORMATION

Providing market aesthetically perfect, comfortable, high-quality, innovative jewellery has always been and remains a problem because of manufacturing quality corresponding to the requirements put forward and demand dictated jewel of great socio-economic importance. So the goal is important prospective areas of evaluation range of jewellery, which requires systematization assortment of variety. In this article within the task systematization of jewellery based on the principles established by the transformation of correspondence between the basic principles of transformation, which are formed by means of functional features and connection elements jewellery and toiletries, and features elements of these products. The need to create a systematic information base on varieties of items of jewellery based on the principles of transformation on various grounds is obvious. It is therefore advisable based on the analysis of contemporary sources and range of personal jewellery and toiletries to detect, classify items of jewellery on functional grounds, which will further develop the knowledge base and offer new solutions on the basis of the elements of transformation.

Keywords: jewellery items based on the principles of transformation, pendants, arms, necklace, tiara, pendant, foundations, ring.

Вступ

Забезпечення ринку естетично довершеними, комфортними, новаторськими ювелірними виробами завжди було та залишається актуальним завданням, оскільки виготовлення якісного, відповідного до висунутих вимог та продиктованого попитом ювелірного виробу має велике соціально-економічне значення. Тому актуальним постає завдання оцінки перспективних напрямків розвитку асортименту ювелірних виробів, що потребує систематизації асортиментного їх різновиду. В даній статті в рамках вирішення завдання систематизації ювелірних виробів на основі принципів трансформації встановлюються відповідності між функціями елементів цих виробів та базовими принципами трансформації, які формуються за функціональними ознаками і засобами з'єднання елементів прикрас.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для визначення функцій елементів ювелірних виробів та їх співвідношення з базовими принципами трансформації було проаналізовано асортимент існуючих особистих прикрас і предметів туалету, зокрема моделі, які пропонує сучасний вітчизняний і зарубіжний ринок. З аналізу літературних джерел та електронних ресурсів [1–12] виявлено, що відомі ювелірні вироби-трансформери та їх елементи не систематизовано за базовими принципами трансформації, які формуються за функціональними ознаками і засобами з'єднання елементів ювелірних виробів.

Формулювання мети дослідження

Потреба у створенні систематизованої інформаційної бази щодо різновидів елементів ювелірних виробів на основі принципів трансформації за різними ознаками є очевидною. Тому доцільно на основі аналізу сучасних джерел і асортименту особистих прикрас та предметів туалету виявити функціональні ознаки елементів ювелірних виробів, що дозволить в подальшому розробити інформаційну базу та запропонувати нові рішення елементів на основі принципів трансформації.

Викладення основного матеріалу дослідження

В першу чергу необхідно звернутися до походження поняття «ювелірний», яке є похідним від слова «ювелір». Етимологія свідчить про походження від голландського або німецького *Juwelier* (*juwel* – «дорогоцінний камінь»), яке прийшло зі старофранцузької мови (*joel* – «скарб», «коштовність»). Першоджерелом є латинське *jocellum* – «коштовність» (похідне від дієслова *jocog* – «розважатися», «жартувати») [13].

«Трансформація» (латинське *transformatio*, від *trans* – через, і *formatio* – утворення вигляду) – перетворення, зміна вигляду, форми, істотних властивостей чого-небудь, перетворення однієї форми на іншу. В межах дизайну трансформація – це властивість об'єктів наочно-просторового світу змінювати свої первинні форми і параметри в процесі існування або експлуатації. В останні десятиліття, поняття «трансформер» розширилося, і можна зустріти: одяг-трансформер, взуття-трансформер, диван-трансформер, іграшку-трансформер тощо. Даний термін став широко вживатися і стосовно ювелірних виробів. Ювелірні вироби-трансформери – це вироби, які можуть видозмінюватися за зовнішнім виглядом або за функцією [4].

За визначенням Г. Мінервіна в дизайні трансформований об'єкт – це матеріальна структура, здатна приймати ряд значних функціональних станів шляхом внутрішнього переконструювання, що відбувається в

нейтральному стані, званому як «нульова трансформа». Модель трансформер є рухомою матеріальною структурою, що здатна зі стану «нульової трансформи» приймати інші форми, змінювати призначення, об'єм або свої властивості та бути функціонально багатозначною за рахунок наявності різних способів закріплення, перестановки чи заміни її окремих частин [14]. Формування таких моделей-трансформерів ґрунтується на основі ряду принципів [15–17], для яких характерними є певні функції елементів ювелірних виробів. Доцільним є навести низку функцій, з одночасним їх кодуванням:

- Ф1 – забезпечення зміни чи формування форми виробу/деталі;
- Ф2 – забезпечення зміни чи регулювання довжини/ширини/висоти виробу/деталі;
- Ф3 – забезпечення зміни чи регулювання об'ємно-просторової форми виробу/деталі;
- Ф4 – забезпечення зміни зовнішнього вигляду виробу;
- Ф5 – забезпечення зміни відтінку чи кольору виробу/деталі;
- Ф6 – забезпечення зміни експлуатаційних властивостей виробу;
- Ф7 – зміна конфігурації виробу/деталей виробу;
- Ф8 – фіксація/кріплення виробу на необхідній ділянці чи в певному положенні.

Принцип «відділення – приєднання» деталей (елементів) ювелірних виробів, що призведе до отримання нового вигляду виробу у ювелірних виробках, забезпечується знімними підвісками, обіймами, декоративними елементами виробу тощо (табл. 1, рис. 1–4) [18]. Прикладами таких виробів можуть бути прикраси від відомих ювелірних будинків Cartier, Chaumet, Harry Winston. Прикраса від Cartier, кольє-тіара Royal Pearl, забезпечена особливим механізмом, який дозволяє носити кольє як на шії, так і на голові у вигляді тіари. Бездоганні перлини тут поєднуються з найчистішими діамантами, при цьому найбільша перлина конструкції може бути від'єднана і використовуватися у вигляді підвісу (рис. 1) [5]. Кольє-сережки від Chaumet, кольє з підвісками на медальйоні можна відстебнути і носити як сережки, вид кольє при цьому залишається абсолютно цілісним, а разом вони утворюють гарнітур – парюру (рис. 2). Кольє-браслет від Cartier, можна носити відразу п'ятьма способами: завдяки ланкам, що розчіплюються, воно перетворюється на три браслета, брошку або підвісок (рис. 3). Годинник Harry Winston з безліччю діамантів і без додаткових маніпуляцій може бути браслетом – при закритій кришці циферблату. Якщо ж кришку не просто зрушити, а зняти, то зі зворотного боку є кріплення, щоб носити її як брошку або кулон (рис. 4) [6].

Принцип «регулювання – фіксація» в ювелірних виробках забезпечується зміною довжини ланцюжків, браслетів, фіксація здійснюється за допомогою карабінів, застібок, замків, вушок, петель тощо (табл. 1, рис. 5, 6) [18].

Принцип трансформації «згортання – розгортання» визначає різноманітні зміни в просторовому положенні елементів, забезпечується зміною об'єму, довжини виробу в цілому та його частин, таких як зміна об'єму основин у персях, перетворення перснів на браслети і навпаки тощо (табл. 1, рис. 7, 8) [7, 18].

Принцип «розтягування – стягування» в ювелірних прикрасах забезпечується використанням застібки-блискавки, виконаної із дорогоцінних металів, гнучкого ланцюжка, який може змінювати свої функції (табл. 1, рис. 9, 10). У тридцять років творцями будинку Ванн Кліфф була придумана технологія прикрас, що змінюються. Вони розробили золотий ланцюжок з квіткою, який можна носити як кольє, пояс, браслет або брошку (рис. 9).

У 1954 році будинок Ванн Кліфф створив на замовлення герцогині Віндзорської прикрасу-трансформер з жовтого золота і діамантів з рубінами, що отримало назву «Блискавка». Особливістю цієї прикраси було те, що в розстібнутому вигляді – це кольє, а в застібнутому – браслет (рис. 10) [8].

Принцип трансформації «заміщення» деталей іншими деталями чи елементами, дозволяє зберегти базові елементи і замінити допоміжні. Передбачає зняття одного елемента й заміну на інший, наприклад, зміна вставок у персях за рахунок знімних обійм (рис. 11, 12) [9, 18].

Принцип «суміщення – вкладання» визначає трансформацію шляхом використання внутрішнього об'єму складового елемента форми (табл. 1, рис. 13, 14). В ювелірних виробках забезпечується, наприклад, механізмом відкриття центральної частини у сережках, в закритому вигляді вони є досить звичайною, повсякденною прикрасою, але варто натиснути непомітну кнопку і золоті пелюстки розкриваються, показуючи розсип діамантів і сафірів, які підійдуть до вечірнього вбрання (рис. 13) [10].

Принцип «перестановка» деталей, при цьому вихідний елемент змінює своє просторове положення (табл. 1, рис. 15, 16). Прикладом може бути двохстороннє кольє ювелірної марки Boucheron з колекції Jodhpur (рис. 15). Натхненням для його створення послужили піски Раджастана і легендарний індійський Тадж-Махал. Саме макранський мармур, з якого була побудована фортеця, і використовувався при створенні прикрас з серії Jodhpur. В ньому використовуються вставки з діамантів і сафірів не тільки для установки в золоту оправу, але й кришталеві елементи також інкрустовані коштовностями [11]. Варіантом принципу «перестановки» також може бути ідея втілена в золотому браслеті Trasformista від італійської ювелірної марки Nanis, яка отримала перше місце на Centurion Gold Design Award 2016. Одним легким обертовим рухом золоте плетіння браслета з класичної форми набуває нерегулярну (рис. 16) [12].

Систематизація елементів ювелірних виробів на основі принципів трансформації

Принцип трансформації	Назва виробу/ частини виробу	Код функції	Зображення
1	2	3	4
«Відділення приєднання»	Кольє / тіара / кулон	Ф1-Ф4, Ф6-Ф8	 Рис. 1. Прикраса від Cartier, кольє-тіара Royal Pearl
	Кольє / сережки	Ф1-Ф4, Ф6-Ф8	 Рис. 2. Кольє-сережки від Chaumet
	Кольє / браслет / підвісок / брошка	Ф1-Ф4, Ф6-Ф8	 Рис. 3. Кольє-браслети від Cartier
	Годинник / браслет / брошка / кулон	Ф1-Ф4, Ф6-Ф8	 Рис. 4. Годинник Rosebud, Harry Winston
«Регулювання фіксація»	Ланцюжок	Ф1, Ф2, Ф4, Ф7, Ф8	 Рис. 5. Ланцюжок
	Браслет	Ф2, Ф8	 Рис. 6. Браслет

Продовження табл. 1

1	2	3	4
«Згортання розгортання»	Браслет / перстень	Ф1-Ф4, Ф6, Ф7, Ф8	 Рис. 7. Перстень-браслет
	Перстень / основина / обідок	Ф1-Ф5, Ф7	 Рис. 8. Персні-трансформери
«Розтягування стягування»	Ланцюжок / підвісок / кольє / пояс / браслет / перстень	Ф1-Ф4, Ф7, Ф8	 Рис. 9. Ланцюжок, Van Cleef & Arpels
	Кольє / браслет / кулон / підвісок	Ф1-Ф4	 Рис. 10. Кольє-браслет Zip, Van Cleef & Arpels
«Заміщення»	Перстень / обійма	Ф4, Ф5	 Рис. 11. Персні зі знімними обіймами
	Ланцюжок / кулон	Ф1, Ф3-Ф5, Ф7	 Рис. 12. Ланцюжок з різними кулонами

Продовження табл. 1

1	2	3	4
«Суміщення вкладання»	Сережки	Ф1-Ф5, Ф7, Ф8	 Рис. 13. Сережки «сапфірові краплі»
	Перстень	Ф4, Ф5	 Рис. 14. Перстень-трансформер
«Перестановка»	Кольє	Ф4, Ф5	 Рис. 15. Двохстороннє кольє Jodhpur, Boucheron
	Браслет	Ф1, Ф3, Ф4, Ф7, Ф8	 Рис. 16. Браслет від Nanis

Висновки

Результатом використання елементів ювелірних виробів на основі принципів трансформації є розширення естетичних і ергономічних показників та призначення ювелірних виробів, також трансформовані вироби більш економічні щодо трудомісткості і матеріальних витрат. Виготовлення таких виробів можливе в умовах масового виробництва з використанням промислового устаткування та в умовах індивідуального виробництва з частковим або виключним використанням ручної роботи чи авторського оздоблення. Надана систематизація за різними ознаками дає змогу проаналізувати відомі варіанти використання таких елементів на основі принципів трансформації, створити інформаційну їх базу для подальшого використання, зокрема споживачем, створює передумови для її розширення та оновлення. Такий вид інформації доцільно використовувати при дизайн-проектванні ювелірних прикрас в автоматизованому режимі.

Перспективним є шлях створення нових конструктивно-технологічних рішень елементів, спрямованих на розробку багатофункціональних ювелірних виробів. Розробка елементів ювелірних прикрас на основі принципів трансформації за функціональною ознакою сприяє підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних ювелірних виробів та є перспективним напрямом наукових досліджень.

Література

1. Трайна Д. Уникальные драгоценности / Джон Трайна ; [пер. с англ. А. Дворядкина, А. Мельниковой]. – М. : Крон-Пресс, 1997. – 216 с.
2. Модные украшения-трансформеры : стаття [Електронний ресурс]. – Режим доступу :

<http://www.justlady.ru/articles-140658-modnye-ukrasheniya-transformery>.

3. Куманин В.И. Ювелирные украшения-трансформеры, дизайн и классификация. / В.И. Куманин, О.А. Зябнева // Дизайн. Материалы. Технология. – Санкт-Петербург, 2011. – № 1. – С. 14-15.

4. Зябнева О.А. Дизайн ювелирных изделий-трансформеров : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 17.00.06 «Техническая эстетика и дизайн» / О.А. Зябнева. – М., 2011 – 20 с.

5. Королевство Cartier : стаття [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.vogue.ru/jewellery/Korolevstvo_Cartier/

6. Любимые игрушки : стаття [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.vogue.ru/magazine/articles/324449/>

7. Фото [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.almaz-fashion.ru/2015/11/12/yantarnyj-kombinat-vypustil-ukrasheniya-transformery/>

8. 10 знаковых украшений Van Cleef & Arp  s : стаття [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://jetsetter.ua/stati/van-cleef--arpels-10-years/10-znakovyh-ukrasheniy-van-cleefarpels.html>

9. Фото [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://gold24.ru/vendor/bibigi>

10. Фото [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.evora.ru/items/sergi-kapli-s-sapfirami-i-brilliantami-iz-belogo-zolota-132254>

11. Коллекция Bleu de Jodhpur от Boucheron : стаття [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.jewellerymag.ru/p/boucheron-bleu-de-jodhpur/>

12. Браслет трансформер от Nanis : стаття [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://italiangem.ru/%D0%B1%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BB%D0%B5%D1%82-%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B5%D1%80-%D0%BE%D1%82-nanis/#more-472>

13. Словник української мови [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://sum.in.ua/s/Juvelir>

14. Нагорна З.В. Класифікація методів трансформативного формоутворення в дизайні одягу / З.В.Нагорна // Вісник ХДАДМ. – 2013. – № 2. – С. 87–89.

15. Дубінецька Г.О. Систематизація елементів весільного одягу на основі принципів трансформації / Г.О. Дубінецька, Н.В. Остапенко, Т.В. Луцкер, Л.В. Навольська. // Вісник ХНТУ. – 2016. – № 2(57). – С. 123–135.

16. Остапенко Н.В. Розробка елементів спеціального захисного одягу на основі принципів трансформації / Н.В. Остапенко, Т.В. Луцкер, О.В. Колосніченко, Л.Д. Третьякова // Теорія та практика дизайну. Технічна естетика. – К. : «Дія», 2015. – Вип. 8.– С. 204–216.

17. Винничук М.С. Удосконалення проектування жіночого одягу на основі принципів трансформації / М.С. Винничук, Ю.В. Андріішин // Матеріали 15-ї Всеукраїнської наукової конференції "Актуальні питання історії науки і техніки". – 2016. – С. 44–47.

18. Вироби золотарські. Терміни та визначення : ДСТУ 3375-96. – [Чинний від 28.06.1996]. – К. : Держспоживстандарт України, 1997. – 60 с. – (Національний стандарт України).

Рецензія/Peer review : 15.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 13.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Остапенко Н.В.

ДИЗАЙН МУЗЕЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В статті приведений стан музейної справи на сьогодні у всьому цивілізованому світі. Описані факти застосування високих технологій в експозиціях музеїв різних країн світу, перелік видів мультимедійного обладнання, що використовується в стаціонарних експозиціях. На прикладі навчально-виставочного центру Хмельницького національного університету запропоновано застосування інноваційних технологій для модернізації технічного музею, що дає йому змогу стати більш привабливим, цікавим та ефективним для пізнавальної і навчальної роботи із студентською молоддю.

Ключові слова: інновації, експозиція, музейне середовище, мультимедійна техніка, тачскріни, панелі, контролери.

А.К. KARMALITA

Khmelnytsky National University

DESIGN MUSEUM ENVIRONMENT WITH THE USE OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES

In the article cited state museums today all over the civilized world. Describe the facts of the application of high technology in expositions of museums around the world, list of multimedia equipment used in stationary expositions. For example, teaching and Exhibition Center Khmelnytsky National University completed the application of innovative technologies for the modernization of the technical Museum, which gives him the opportunity to become more attractive, interesting and effective for cognitive and educational work of the student youth.

Keywords: innovations, exhibition, the Museum environment, multimedia technology, touchscreen, panels, controllers.

Вступ

Історія розвитку музейної справи сягає сотні і навіть тисячі років. Представлення музейних експозицій еволюційно розвивалось у відповідності з появою нових матеріалів та розвитком технологій для якісного експонування: металів, скла, електричного освітлення, оптичних пристроїв, фотографії, кольорової репродукції, тощо. Але тільки в 8–90-х роках минулого століття з появою та розвитком комп'ютерних технологій представлення музейної експозиції стало можливим принципово новим. Появилась можливість збагатити інформацію про експонати значним додатковим інформаційним потенціалом, революційно змінити взаємини музею із своїм глядачем.

Виклад основного матеріалу

Мультимедійні технології, які ще кілька років назад в якості дослідного зразка проходили обкатку лише на тимчасових виставках, сьогодні все більше використовуються в стаціонарних експозиціях. В організації сучасної музейної експозиції виступають такі види мультимедійного обладнання як: інтерактивні дошки та стіни, відеокубні проектори, плазмові та РК-панелі, світлодіодні екрани, голограми, а також нові засоби освітлення та озвучування приміщень.

Приклади застосування високих технологій в сучасних музеях світу вже існують. Так в США в музеї дизайну в Нью-Йорку пропонують відвідувачам гаджет у формі чорної ручки, завдяки якому любий бажаючий відвідувач музею зможе відчувати себе справжнім дизайнером, зображуючи щось на спеціальній вітрині. В музеї мистецтв міста Клівленд застосовують «стіну колекцій», де на великому сенсорному екрані можна ознайомитись зі всіма колекціями музею кільком людям одночасно і кожний експонат можна розглянути максимально збільшеним. В шведському музеї в Стокгольмі використали 3-Д технології для «оживлення» єгипетських мумій. Деталізована цифрова модель дозволяє глядачам пошарово вивчати вміст саркофага і анатомію мумії. Музей природничих наук MUSE в італійському місті Тренто створив спеціальний мультимедіатонель з відеопроєкціями та об'ємним звуком, в якому створюється ілюзія польоту над Альпами і спуску по сніжній трасі. Можна привести ще багато прикладів високих музейних технологій в інших містах та країнах світу.

В Хмельницькому національному університеті створено свій навчальний музейно-виставочний центр «Історія та сучасність техніки». Центр оснащений великою та різноманітною кількістю експонатів, але організація та дизайн центру-музею, створений викладачами та студентами кафедри дизайну Хмельницького національного університету, виконаний з використанням традиційних і не зовсім сучасних технологій. Використання найновіших технологій в технічному музеї було б органічним і правильним, тому що одна із основних функцій такого музею це просвітництво і популяризація науки серед студентської молоді.

Для того, аби центр став більш привабливим і ефективним для пізнавальної та навчальної роботи, його дизайн можна і потрібно збагатити сучасною мультимедійною технікою. Звичайно, складність та ефективність такої техніки залежить від фінансових можливостей університету, але навіть ті можливості, які він має, можуть суттєво модернізувати музейно-виставочний центр.

В статті запропоновано один із варіантів такої модернізації із застосування комп'ютерних

технологій. На рисунку 1 зображений план музею, на якому вказано розташування мультимедійного обладнання (інформаційних екранів) по всьому його периметру. Кількість таких екранів залежить від кількості експозицій. На одному екрані можна демонструвати інформацію про 4-5 експозицій, відповідно інтерфейс поділяється на стільки ж частин. Зміст інформації наповнюється викладачами відповідних кафедр і в даній статті не розглядається.

Застосування сенсорних екранів в такому випадку є найбільш доцільним. Сенсорний екран або тачскрін (Touch Screen) – це, в загальному випадку, спеціальний пристрій, який кріпиться до екрану пристрою та виконує функції визначення координат точки дотику. Функціонально в будь-якому екрані з панеллю тачскрін можна виділити три частини: сенсор (спеціальна панель або датчики), контролер, який управляє датчиками і обчислює або готує дані для обчислення координат точки дотику, і драйвер-програма, яка виконує необхідні перетворення даних, що надходять від контролера, проводить, при необхідності, додаткові обчислення і коригує роботу контролера.

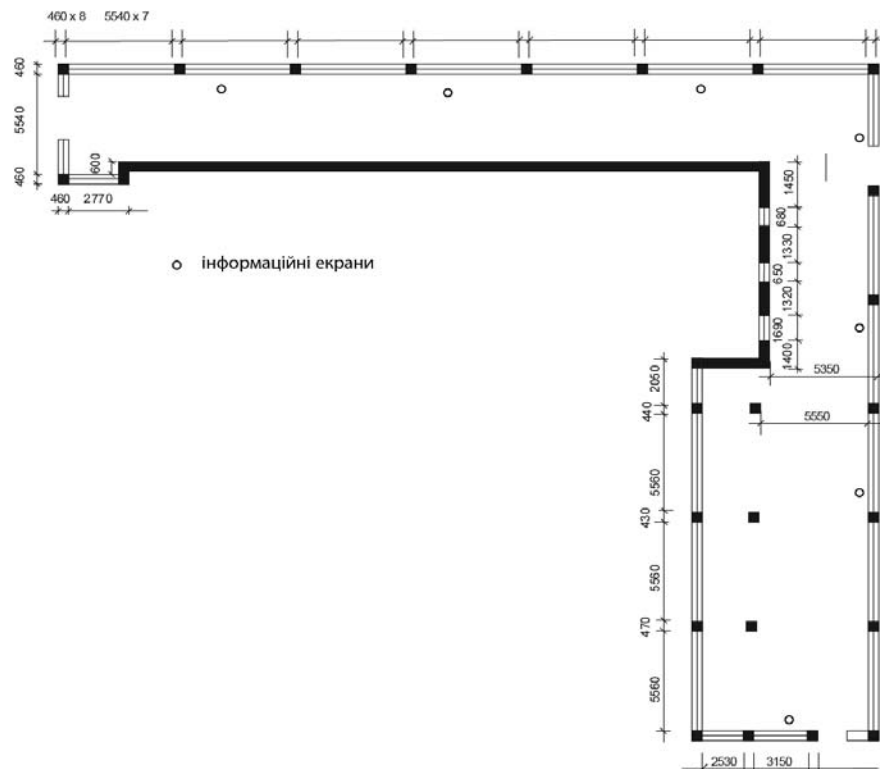


Рис. 1. Розміщення інформаційних екранів в приміщенні музейно-виставочного центру



Рис. 2. Основні елементи інтерактивної системи з панеллю тачскрін

Для передачі даних від контролера до комп'ютера використовується зазвичай USB або Com інтерфейс.

Панелі тачскрін різних принципів дії можуть працювати з плоскпанельними пристроями відображення (плазмовими і рідкокристалічними панелями), проекційними екранами і екранами на основі електронно-променевої трубки (плоскими, циліндричними і сферичними). Принцип дії пристрою відображення, забезпеченого панеллю тачскрін, в загальному випадку можна описати таким чином. На екран пристрою відображення виводиться деяка інформація. Наприклад, це може бути назва відеоролика чи іншого матеріалу по даній експозиції або презентаційні матеріали. Користувач бачить зображення через щільно прикріплену прозору панель тачскрін і, при необхідності, торкається зображення в певних точках.

Контролер панелі тачскрін передає інформацію з датчиків в комп'ютер, де остаточно обчислюються координати точки дотику. Далі проводиться зіставлення координат, що надійшли з контролера, з координатами програмних елементів інтерфейсу і визначається елемент інтерфейсу, який хотів вказати користувач.

Таким чином, забезпечений панеллю тачскрін дисплей дозволяє без допомоги клавіатури і миші переміщувати курсор, натискати на кнопки, відкривати папки, запускати програми, вводити текст за допомогою екранної клавіатури і малювати. Завдяки здатності не тільки виводити зображення, але і вводити дані, такі пристрої називають інтерактивними або, рідше, інтелектуальними (Smart Board).

Як вже зазначалося вище, багато інтерактивних дисплеїв дозволяють малювати по їх поверхні. Ця особливість робить такі пристрої зручними при проведенні презентацій, конференцій чи лекційних занять (рис. 3).

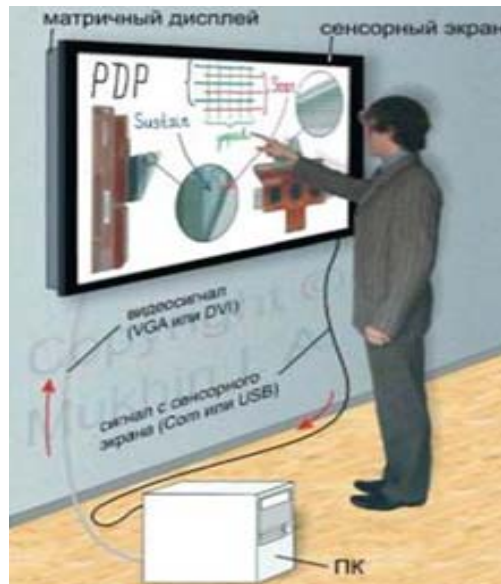


Рис. 3. Використання інтерактивного дисплея для презентацій

Доповідач отримує можливість не тільки демонструвати малюнки або фотографії, але і робити необхідні позначки і написи в процесі викладу матеріалу. Причому існує можливість зберегти всі зроблені зміни і, при бажанні, поширити копії серед слухачів.

Висновки

Таким чином, застосування інтерактивної мультимедійної системи дозволяє «оживити» статичну музейну експозицію, зробити її більш привабливою та цікавою, демонструючи на екрані відповідні відеоролики, фотографії, тексти та іншу інформацію з історії кожної експозиції. Крім того така система дозволяє з допомогою лекцій-презентацій проводити процес навчання, а в деяких випадках і лабораторні чи практичні роботи.

Література

1. Баранов В.Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы / В.Н. Баранов – М. : Издательский дом «Додэка XXI», 2004. – 288 с. : ил. (Серия «Мировая электроника»).
2. Офіційна web-сторінка компанії «Atmel» [Електронний ресурс] / Atmel Corporation. – Режим доступу : <http://www.atmel.com>.
3. Електроника для всех [Електронний ресурс] / Easy Electronics. – Режим доступу : <http://www.easyelectronics.ru>, вільний. – Загл. з екрана. – Мова рос.
4. НПП «Стелс» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://nppstels.ru/>.
5. МАСТЕР КИТ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.masterkit.ru>.
6. ООО «Мототелеком Софт» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://mototelecom.ru>.

Рецензія/Peer review : 3.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 13.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор А.А. Мясіщев

УДК 621.396.12

В.І. ЛУЖАНСЬКИЙ, Ю.О. БАБІЙ, О.П. АЙДАРОВ

Хмельницький національний університет

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕН БАЗОВИХ СТАНЦІЙ ТА ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ АБОНЕНТІВ СТАНДАРТІВ GSM ТА CDMA

Стаття присвячена ефективності роботи систем мобільного зв'язку залежно від технічних характеристик антенних решіток базових станцій. Розглядаються способи збудження елементарних випромінювачів в панельній антенній решітці і методи розрахунку діаграми спрямованості багатоелементних секторних антен. Представлено елементи проектування стільникових мереж рухомого радіозв'язку з позиції теорії масового обслуговування. Використовуються методи теорії телеграфіки під час розрахунку основних показників стільникових мереж рухомого радіозв'язку, які пов'язані з критеріями якості обслуговування абонентів.

Ключові слова: стільникові мережі рухомого радіозв'язку, коефіцієнт направленої дії антенної решітки, множник антенної решітки, базова станція, інтенсивність сумарного потоку викликів, ймовірність надходження викликів.

V.I. LUZHANSKIY, Y.O. BABIY, O.P. AYDAROV

Khmelnytsky National University

EVALUATION OF MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS DEPENDING ON THE TECHNICAL CHARACTERISTICS OF ANTENNAS OF BASE STATIONS AND CUSTOMER SERVICE QUALITY GSM AND CDMA

The article is devoted to the efficiency of mobile communication systems, depending on the technical characteristics of antenna systems with antenna arrays in which the base station equipment of the network. Use methods of the theory of teletraffic which are used in the calculation of the main indicators of cellular mobile radio which are linked to the criteria of quality customer service. Describes the characteristics of antennas of base stations as a panel antenna arrays. Discusses the methods of excitation of the elementary emitters in the lattice, and the methods of calculation of multi-element radiation pattern of sector antennas. The elements of the design of cellular networks of the mobile radio from the perspective of queuing theory.

Keywords: cellular mobile radio network, the directivity factor of a lattice of base stations, a multiplier of the antenna array, the intensity of the total flux, the probability of admission calls.

Вступ

Як показала практика, ефективність роботи систем мобільного зв'язку в значній степені залежить від технічних характеристик антенних систем, якими обладнані базові станції мережі. Для забезпечення максимального покриття стільника по дальності використовуються лінійні антенні решітки базових станцій з різною кількістю одиночних вібраторів. Крім цього однією із особливостей коміркової мережі рухомого радіозв'язку є те, що її можна розглядати з позиції теорії телеграфіки при розрахунку основних показників ефективності мережі, які пов'язані з критеріями якості обслуговування абонентів. В той же час підвищення ефективності роботи систем мобільного зв'язку потребує подальшого дослідження щодо застосування сучасних економічних антенних пристроїв, які б створювали менший рівень завад на сусідні спільно-каналні комірки відповідного кластеру.

Аналіз стану досліджень та публікацій

Аналіз літературних джерел (наприклад, [1–4] та ін.) показує недостатність проведених досліджень у цьому напрямку.

Постановка задачі

Метою даної статті є дослідження оцінки ефективності систем мобільного зв'язку залежно від технічних характеристик антенних решіток базових станцій та якості обслуговування абонентів стандартів GSM та CDMA.

Результати дослідження

Підсистема базових станцій (БС) стільникової мережі включає приймально-передавальні БС, число яких визначається кількістю комірок в межах зони обслуговування. Усі базові станції розділені на групи, кожною з яких управляє контролер базових станцій.

Розглянемо особливості антенних систем базових станцій, за допомогою яких здійснюється радіозв'язок з мобільними терміналами в стільнику. Як показала практика, ефективність роботи системи мобільного зв'язку значною мірою залежить від технічних характеристик антенних систем, якими обладнані базові станції мережі. Залежно від ємності і топології стільникової мережі, а також вимог до її якісних показників, застосовуються різні типи антенних систем БС. На БС використовують в основному три варіанти антенних систем.

1. Всенаправлена антенна система, яка забезпечує рівномірне випромінювання електромагнітної енергії в межах стільника.

2. Трьохсекторна антенна система, яка складається з трьох панельних антен. Кожна антена обслуговує свій сектор, кутовий розмір якого складає 120° .

3. Шестисекторна антенна система, до складу якої входить шість панельних антен. Кожна антена обслуговує свій сектор, кутовий розмір якого складає 60° .

Для отримання спрямованого випромінювання в панельних антенах використовуються системи слабо направлених випромінювачів, які певним чином розташованих в просторі.

Висока спрямованість панельної антени досягається за рахунок певної орієнтації однакових випромінюючих елементів і збудження їх струмами з необхідним розподілом амплітуд і фаз. Подібні системи випромінювачів називають антенними решітками (АР). Залежно від розташування елементів розрізняють лінійні, поверхневі та об'ємні решітки. У стільникових мережах на БС застосовуються прямолінійні та плоскі АР.

В лінійній АР випромінюючі елементи розташовуються уздовж прямої, яка називається віссю решітки, на рівних відстанях один від одного. Відстань d між фазовими центрами випромінювачів називають кроком решітки. Лінійна решітка може використовуватися як випромінюючий елемент плоскої АР.

Розглянемо лінійну евідистантну АР, елементи якої розташовані уздовж осі OZ (рис. 1). Струми в усіх елементах рівні по амплітуді, а для зсуву по фазі між струмами сусідніх елементів виконується умова $\Delta\psi = 0$. В якості елементів використовуються точкові не напрямлені випромінювачі [1].

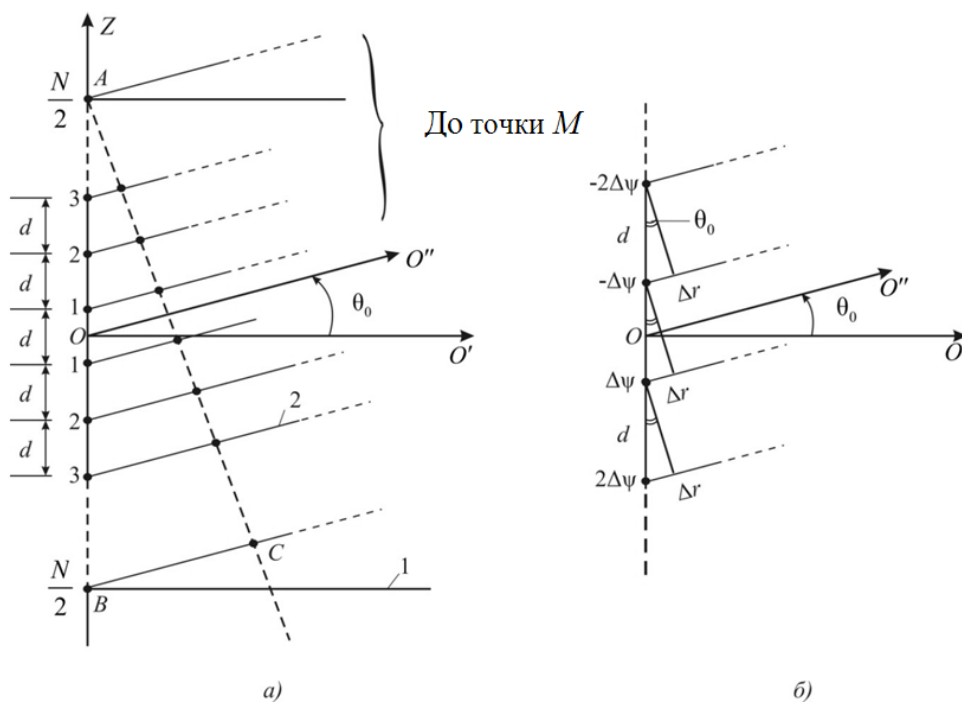


Рис. 1. Лінійні решітки випромінювачів

Функція $f_p(\theta)$ характеризує спрямовані властивості системи з N випромінювачів. Цю функцію називають множителем решітки:

$$f_p(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{N \cdot k \cdot d}{2} \cdot \sin \theta\right)}{\sin\left(\frac{k \cdot d}{2} \cdot \sin \theta\right)}, \quad (1)$$

де $f_p(\theta)$ – множник решітки; N – кількість випромінюючих елементів; $k = 2 \cdot \pi / \lambda$ – хвильове число вільного простору; d – відстань між елементами решітки; θ – зенітний кут.

Якщо кожен елемент решітки є точковим не напрямленим випромінювачем, то функція (1) являється діаграмою направленості (ДН) антенної системи.

В лінійних решітках максимум випромінювання відхиляється від нормалі на кут θ_0 , при якому різниця ходу променів від випромінювачів Δr компенсується зсувом фаз між струмами в сусідніх елементах $\Delta\psi$ (рис. 1б).

При цьому справедливо наступне співвідношення:

$$\Delta\psi = k \cdot d \cdot \sin \theta_0. \quad (2)$$

Такий метод збудження елементів решітки називають режимом похилого випромінювання.

Розглянемо лінійні антенні решітки з рівно амплітудним збудженням і лінійною зміною фази. Множник решітки для режиму похилого випромінювання має вигляд:

$$f_p(\theta) = \left| \frac{\sin \left[\frac{N \cdot k \cdot d}{2} (\sin \theta - \sin \theta_0) \right]}{\sin \left[\frac{k \cdot d}{2} (\sin \theta - \sin \theta_0) \right]} \right|, \quad (3)$$

де $f_p(\theta)$ – множник решітки похилого випромінювання; θ_0 – кут нахилу максимального випромінювання.

Для дослідження основних властивостей множника решіток складемо в середовищі MATLAB файл-програму **Untitled1.m**, представлену в **Лістингу 1**.

Лістинг 1. Файл-програма **Untitled1.m** для дослідження множника решітки для режиму похилого випромінювання:

```
%{
График множителя линейной решетки
в прямоугольной системе координат
%}
lambda=0.33; k=2*pi/lambda; d=0.5*lambda;
N=8;      % число этажей (рядов)
x0=pi/6;  % Угол поворота главного лепестка
x=[-3*pi/2:0.0013*pi:3*pi/2]; % Угол theta
% Множитель решетки
fp=abs(sin(k*N*d*(sin(x)-sin(x0))/2)./sin(k*d*(sin(x)-sin(x0))/2));
plot(x,fp,'k-','LineWidth',2),grid on
set(gca,'Xgrid','on')
set(gca,'xtick',[-3*pi/2 -pi -pi/2 0 pi/2 pi 3*pi/2])
set(gca,'FontName','Symbol')
set(gca,'XTickLabel',[-3p/2| -p| -p/2| 0| p/2| p| 3p/2|'])
axis([-3*pi/2 3*pi/2 0 7])
%-----
% Множитель решетки в полярной системе координат
figure
hpolar=polar(x,fp,'k-');
set(hpolar,'LineWidth',2);
```

Рисунок 2а ілюструє діаграму направленості лінійних решіток в прямокутній системі координат при куті нахилу максимального випромінювання $\theta_0 = \pi/6$. Діаграма направленості лінійних решіток в режимі нахилого випромінювання є поверхнею обертання у вигляді конуса, вісь якого співпадає з віссю OZ (рис. 2а). Подібну діаграму називають воронкоподібною. На рисунок 1б представлений переріз воронкоподібної ДН у вертикальній площині, що проходить через вісь OZ .

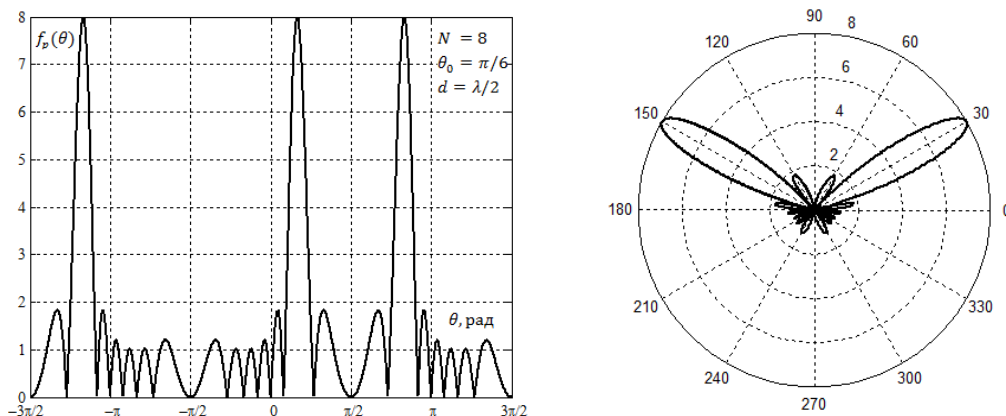


Рис. 2. Множник решітки в прямокутній (а) та полярній (б) системах координат

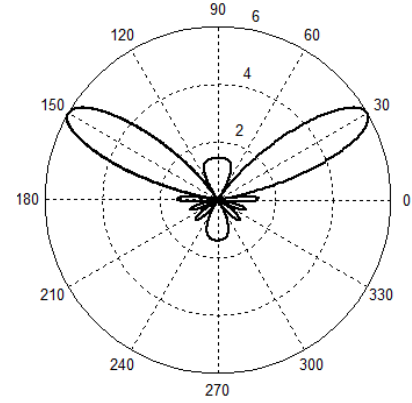
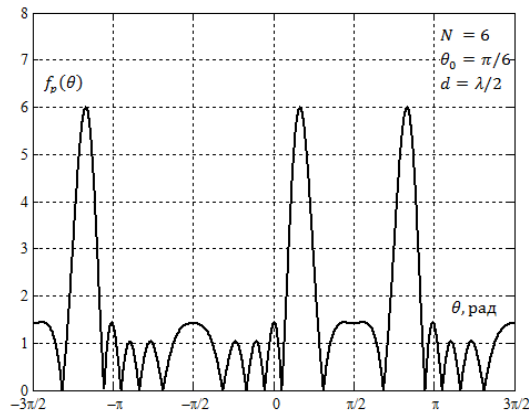


Рис. 3. Множник решітки в прямокутній (а) та полярній (б) системах координат

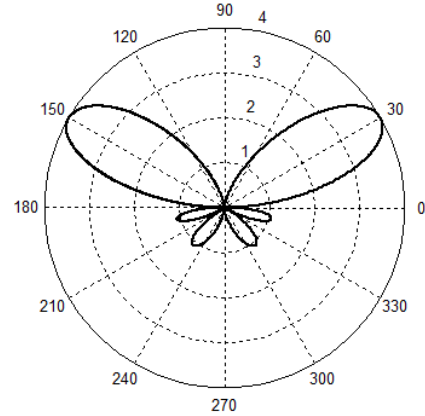
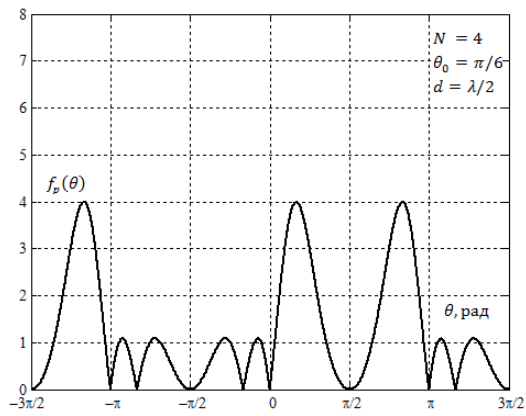


Рис. 4. Множник решітки в прямокутній (а) та полярній (б) системах координат

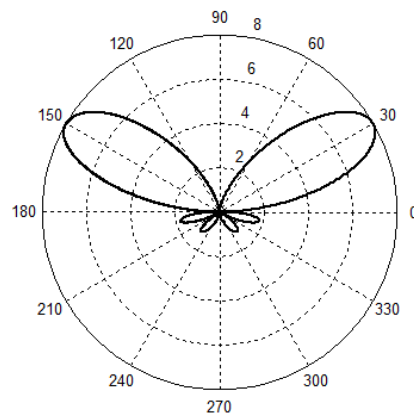
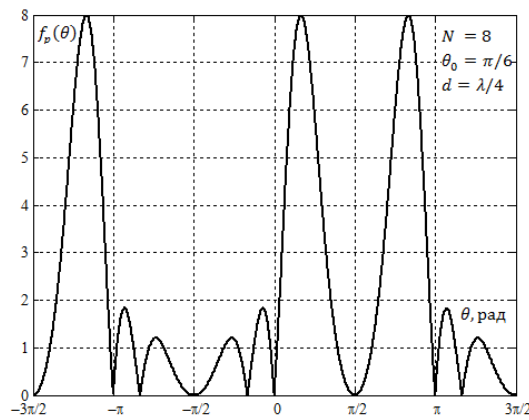


Рис. 5. Множник решітки в прямокутній (а) та полярній (б) системах координат

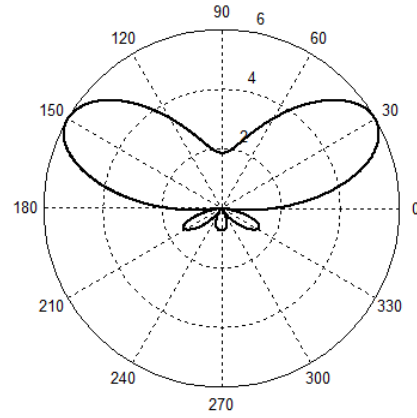
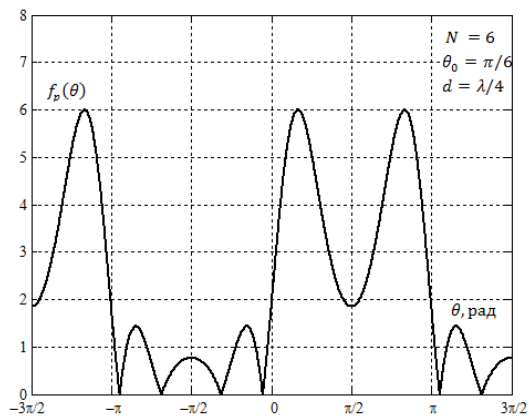


Рис. 6. Множник решітки в прямокутній (а) та полярній (б) системах координат

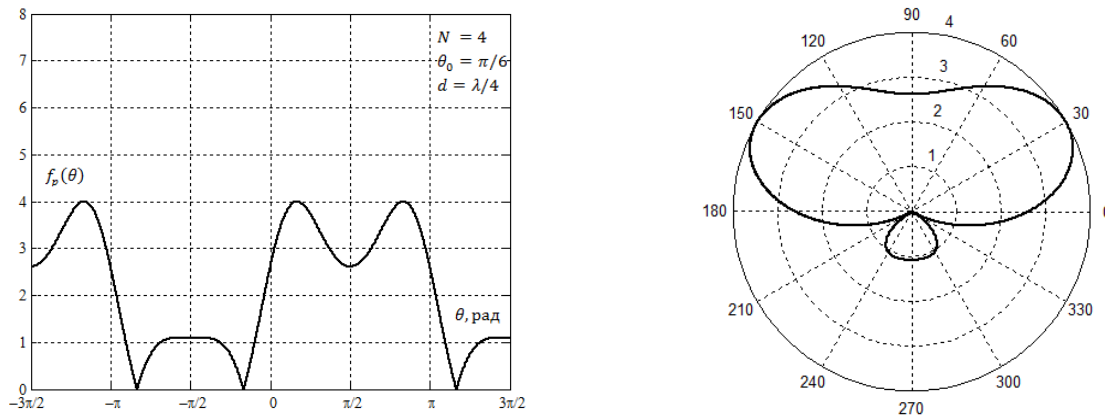


Рис. 7. Множник решітки в прямокутній (а) та полярній (б) системах координат

Розглянемо систему з двох півхвильових вібраторів, розміщених вертикально і рознесених на відстань $d = \lambda/4$. Перший є антеною A , а другий активним рефлектором R (рис. 8). Струм рефлектора випереджає по фазі струм антени на 90° .

Оскільки в горизонтальній площині кожен з вібраторів ненаправлений, то ДН системи в цій площині визначається тільки множителем решітки

$$f(\varphi) = f_p(\varphi) = \frac{\sin[0,5 \cdot N \cdot (k \cdot d \cdot \sin \varphi - \Delta\psi)]}{\sin[0,5 \cdot (k \cdot d \cdot \sin \varphi - \Delta\psi)]}. \quad (4)$$

В середовищі MATLAB начало полярної системи координат зміщено на 90° .

На рис. 8 представлена ДН системи $A - R$ в горизонтальній площині (H -площини).

$N = 2, d = \lambda/4, \text{ і } \Delta\psi = \pi/2 :$

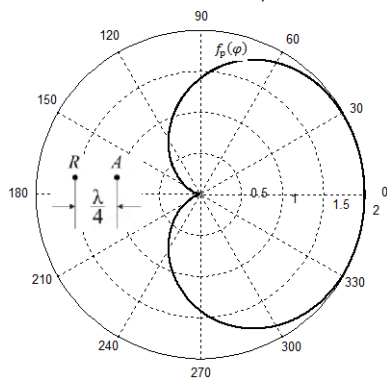


Рис. 8. Симетричний вібратор з активним рефлектором для $N = 2$

$N = 4, d = \lambda/4, \text{ і } \Delta\psi = \pi/2 :$

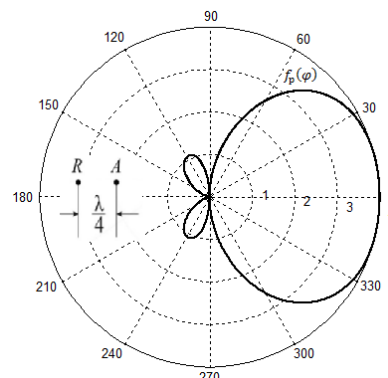


Рис. 9. Симетричний вібратор з активним рефлектором для $N = 4$

$N = 6, d = \lambda/4, \text{ і } \Delta\psi = \pi/2 :$

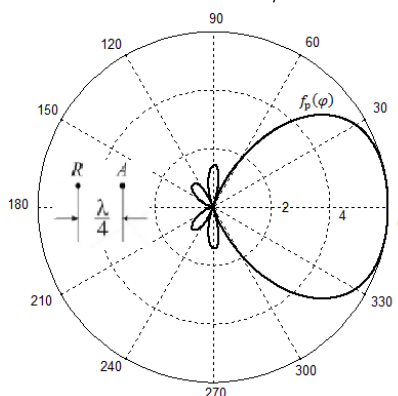


Рис. 10. Симетричний вібратор з активним рефлектором для $N = 6$

$N = 8, d = \lambda/4, \text{ і } \Delta\psi = \pi/2 :$

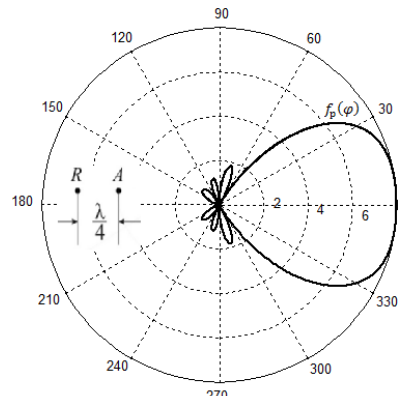


Рис. 11. Симетричний вібратор з активним рефлектором для $N = 8$

Така діаграма направленості за рівнянням (4) має форму кардіоїди. Напруженість поля у напрямі максимального випромінювання у вібратора з рефлектором удвічі більше, чим у одиничного вібратора (при однакових струмах). Це пояснюється інтерференцією полів двох джерел на лінії, що проходить через A і R , де поля мають або однакові фази, або відрізняються на 180° (залежно від напрямку).

У панельних антенах на БС мобільної мережі використовуються слабо направлені випромінювачі, а також екрани, що дозволяють надавати променю потрібний напрям.

Згідно з принципом перемножування [4], діаграма спрямованості усієї антени дорівнює добутку діаграм спрямованості окремих складових, а саме:

$$F(\theta, \varphi) = F_1(\theta, \varphi) \cdot F_{p\phi}(\theta, \varphi) \cdot F_p(\theta, \varphi). \quad (5)$$

де $F_1(\theta, \varphi)$ – нормована діаграма направленості окремо взятого випромінювача; $F_{p\phi}(\theta, \varphi)$ – функція, що визначає вплив плоского металевго екрану (аперіодичного рефлектора); $F_p(\theta, \varphi)$ – нормований множник решітки.

У панельних антенах випромінюючими елементами зазвичай є симетричні вібратори. В якості екрану застосовується лист металу прямокутної форми, що встановлюється на відстані $d = \lambda / 4$ від решітки з випромінювачами.

Таким чином, функція (5) дає уявлення про спрямованість випромінювання антени. Окрім цього, прийнято користуватися інтегральними характеристиками спрямованості у вигляді чисел, що дістали назву коефіцієнта направленої дії (КНД) і коефіцієнта підсилення (КП) антени.

Коефіцієнтом направленої дії (D) називається число, рівне відношенню інтенсивності випромінювання в максимальному напрямі до середнього значення інтенсивності випромінювання по усіх напрямках.

Згідно з цим визначенням:

$$D = \frac{4 \cdot \pi \cdot F^2(\theta_0, \varphi_0)}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi F^2(\theta, \varphi) \cdot \sin \theta \cdot d\varphi \cdot d\theta}, \quad (6)$$

де θ_0 і φ_0 – кути, що характеризують напрям, в якому визначається D .

Під КНД і КП розуміють їх максимальні значення, що відповідають напрямку головного максимуму ДН антени.

Таким чином, справедлива рівність:

$$D(\theta, \varphi) = D \cdot F^2(\theta, \varphi) \quad (7)$$

$$G(\theta, \varphi) = \eta \cdot D(\theta, \varphi), \quad (8)$$

де D – максимальне значення КНД; $G(\theta, \varphi)$ – коефіцієнт підсилення антени; η – коефіцієнт корисної дії антени. Часто КНД виражають в децибелах

$$10 \cdot \lg D = D, \text{ дБ}. \quad (9)$$

У тому випадку, коли підінтегральна функція $F(\theta, \varphi)$ в (6) не виражається аналітично, а наводиться у вигляді графіку або має складну структуру, то інтегрування може бути виконана одним з наближених методів, що пов'язано з відомими математичними труднощами. Тому зазвичай для розрахунку КНД користуються наближеною формулою:

$$D = \frac{4 \cdot \pi}{2\Delta\theta_{0,5} \cdot 2\Delta\varphi_{0,5}}, \quad (10)$$

де $2\Delta\theta_{0,5}$ і $2\Delta\varphi_{0,5}$ – значення ширини головної пелюстки ДН в вертикальній та горизонтальній площинах відповідно по рівню половинної потужності.

Визначимо коефіцієнт направленої дії (КНД) антени БС для 3- і 6-секторних антен. Для 3-секторної антени в стандарті GSM-900 ширина променя на рівні половинної потужності складає $2\Delta\theta_{0,5} = 28^\circ$ по вертикалі і $2\Delta\varphi_{0,5} = 125^\circ$ по горизонталі. Для 6-секторної антени $2\Delta\theta_{0,5} = 28^\circ$ по вертикалі і $2\Delta\varphi_{0,5} = 65^\circ$ по горизонталі [1].

Визначимо значення кутів з градусної міри в радіану для 3-секторної антени:

$$2\Delta\theta_{0,5} = \frac{28 \cdot \pi}{180} = 0,49 \text{ рад.}$$

$$2\Delta\varphi_{0,5} = \frac{125 \cdot \pi}{180} = 2,18 \text{ рад.}$$

Для 6-секторної антени:

$$2\Delta\theta_{0,5} = \frac{28 \cdot \pi}{180} = 0,49 \text{ рад.}$$

$$2\Delta\varphi_{0,5} = \frac{65 \cdot \pi}{180} = 1,13 \text{ рад.}$$

Згідно з формули (10) для 3-секторної антени коефіцієнт направленої дії в напрямку головного максимуму дорівнює:

$$D_1 = \frac{4 \cdot \pi}{0,49 \cdot 2,18} = 11,7(10,68 \text{ дБ}).$$

Для 6-секторної антени:

$$D_2 = \frac{4 \cdot \pi}{0,49 \cdot 1,13} = 22,7(13,5 \text{ дБ}).$$

Однією з особливостей стільникових мереж рухомого радіозв'язку (СМРР), який відрізняє їх від багатьох інших систем передачі інформації по радіоканалах, є те, що СМРР можна розглядати з позиції теорії масового обслуговування. Зокрема, при проектуванні СМРР широко використовуються методи теорії розподілу інформації (теорії телетрафіку), що є добре розробленою галуззю знань [5, 6].

Розглянемо деякі положення цієї теорії, які використовуються надалі при розрахунку основних показників СМРР, пов'язаних з критеріями якості обслуговування абонентів. Головним поняттям теорії масового обслуговування є потік подій. Під потоком подій розуміють послідовність подій, які відбуваються один за іншим в деякі моменти часу. Прикладами можуть служити: потік заявок від абонентів на надання каналів зв'язку; потік відказів на обслуговування і т.д. Потік можна показати як послідовність точок $t_1, t_2, \dots, t_k, \dots$ на осі часу, які відповідають моментам появи подій. Типовим для системи масового обслуговування є випадковий потік заявок (викликів).

Характерними для такого потоку є три властивості: стаціонарність, ординарність і відсутність післядії.

1. Потік називається стаціонарним, якщо вірогідність попадання того або іншого числа подій на ділянку часу завдовжки τ залежить тільки від довжини ділянки і не залежить від положення цієї ділянки на осі часу.

2. Потік називається ординарним, якщо вірогідність попадання на елементарну ділянку Δt двох або більше подій дуже мала в порівнянні з вірогідністю появи однієї події.

3. Потік подій називається потоком без післядії, якщо для будь-яких проміжків часу, які не перекриваються, число подій, що виявилися на одному з них, не залежить від числа подій, які з'явилися на інших.

Якщо потік подій має усі три властивості, то він називається простим або стаціонарним пуассонівським потоком. Іншими словами, при дотриманні трьох умов число подій, що потрапляють на будь-який фіксований інтервал часу, буде розподілено за законом Пуассона.

Прийнято вважати, що потік викликів в стільниковій мережі є простим. Введемо довільний інтервал часу t (година). Число викликів, що потрапляють на інтервал t розподілене за законом Пуассона з математичним очікуванням :

$$a = \lambda \cdot t, \quad (11)$$

де λ – середнє число викликів, які припадають на одиницю часу. Таким чином, частота надходження викликів - це дискретна випадкова величина X , яка може набувати значень $0, 1, 2, \dots, k, \dots$. Ймовірність того, що за час t поступить рівно k викликів, визначається по формулі Пуассона:

$$P(X = k) = P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}. \quad (12)$$

Розглянемо на прикладі стандартів GSM (Global System for Mobile Communications) і CDMA (Code Division Multiple Access) інтенсивність надходження викликів від будь-якого абонента мережі. В стандарті GSM-1800 базова станція може приймати до 374-абонентів, а CDMA до 1000-абонентів [2, 3].

Знайдемо ймовірність того, що за годину зателефонують від 2 до 8 абонентів для загальної кількості абонентів в стільнику 200, 300, 374 для стандарту GSM і від 8 до 16 абонентів для загальної кількості абонентів в стільнику 600, 800, 1000 стандарту CDMA.

Визначимо інтенсивність сумарного потоку викликів:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda \cdot N_{аб}. \quad (13)$$

Стандарт GSM-1800 при $N_{аб} = 200$ абонентів СМРР

$$\lambda_{\Sigma} = 0,01 \cdot 200 = 2 \frac{\text{викл}}{\text{год}}.$$

$$P_2(t) = \frac{2^2}{2!} e^{-2} = 0,271. \quad P_4(t) = \frac{2^4}{4!} e^{-2} = 0,09. \quad P_6(t) = \frac{2^6}{6!} e^{-2} = 0,012. \quad P_8(t) = \frac{2^8}{8!} e^{-2} = 0,00086.$$

Стандарт GSM-1800 при $N_{аб} = 300$ абонентів СМРР

$$\lambda_{\Sigma} = 0,01 \cdot 300 = 3 \frac{\text{викл}}{\text{год}}.$$

$$P_2(t) = \frac{3^2}{2!} e^{-3} = 0,224. \quad P_4(t) = \frac{3^4}{4!} e^{-3} = 0,168. \quad P_6(t) = \frac{3^6}{6!} e^{-3} = 0,05. \quad P_8(t) = \frac{3^8}{8!} e^{-3} = 0,0081.$$

Стандарт GSM-1800 при $N_{аб} = 374$ абонентів СМРР

$$\lambda_{\Sigma} = 0.01 \cdot 374 = 3.74 \frac{\text{викл}}{\text{год}}.$$

$$P_2(t) = \frac{3.74^2}{2!} e^{-3.74} = 0,166. \quad P_4(t) = \frac{3.74^4}{4!} e^{-3.74} = 0,19. \quad P_6(t) = \frac{3.74^6}{6!} e^{-3.74} = 0,09.$$

$$P_8(t) = \frac{3.74^8}{8!} e^{-3.74} = 0,023.$$

Таблиця 1

Залежність ймовірності того, що за одну годину зателефонує фіксована кількість абонентів стандарту GSM-1800

Кількість викликів, k	Ймовірність надходження викликів		
	$N_{a\bar{o}} = 200$	$N_{a\bar{o}} = 300$	$N_{a\bar{o}} = 374$
2	0,271	0,224	0,166
4	0,09	0,168	0,19
6	0,012	0,05	0,09
8	0,00086	0,0081	0,023

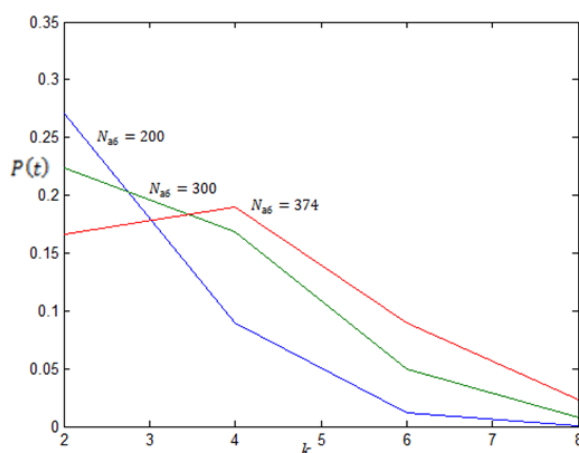


Рис.12. Залежність ймовірності того, що за одну годину зателефонує фіксована кількість абонентів стандарту GSM-1800

Стандарт CDMA при $N_{a\bar{o}} = 600$ абонентів CMPP

$$\lambda_{\Sigma} = 0.01 \cdot 600 = 6 \frac{\text{викл}}{\text{год}}.$$

$$P_8(t) = \frac{6^8}{8!} e^{-6} = 0,103. \quad P_{10}(t) = \frac{6^{10}}{10!} e^{-6} = 0,041. \quad P_{12}(t) = \frac{6^{12}}{12!} e^{-6} = 0,011.$$

$$P_{14}(t) = \frac{6^{14}}{14!} e^{-6} = 0,002. \quad P_{16}(t) = \frac{6^{16}}{16!} e^{-6} = 0,0003.$$

Стандарт CDMA при $N_{a\bar{o}} = 800$ абонентів CMPP

$$\lambda_{\Sigma} = 0.01 \cdot 800 = 8 \frac{\text{викл}}{\text{год}}.$$

$$P_8(t) = \frac{8^8}{8!} e^{-8} = 0,14. \quad P_{10}(t) = \frac{8^{10}}{10!} e^{-8} = 0,099. \quad P_{12}(t) = \frac{8^{12}}{12!} e^{-8} = 0,048.$$

$$P_{14}(t) = \frac{8^{14}}{14!} e^{-8} = 0,016. \quad P_{16}(t) = \frac{8^{16}}{16!} e^{-8} = 0,005.$$

Стандарт CDMA при $N_{a\bar{o}} = 1000$ абонентів CMPP

$$\lambda_{\Sigma} = 0.01 \cdot 1000 = 10 \frac{\text{викл}}{\text{год}}.$$

$$P_8(t) = \frac{10^8}{8!} e^{-10} = 0,113. \quad P_{10}(t) = \frac{10^{10}}{10!} e^{-10} = 0,125. \quad P_{12}(t) = \frac{10^{12}}{12!} e^{-10} = 0,095.$$

$$P_{14}(t) = \frac{10^{14}}{14!} e^{-10} = 0,052. \quad P_{16}(t) = \frac{10^{16}}{16!} e^{-10} = 0,022.$$

**Залежність ймовірності того, що за одну годину зателефонує
фіксована кількість абонентів стандарту CDMA**

Кількість викликів, k	Ймовірність поступлення викликів		
	$N_{аб} = 600$	$N_{аб} = 800$	$N_{аб} = 1000$
8	0,103	0,14	0,113
10	0,041	0,099	0,125
12	0,011	0,048	0,095
14	0,002	0,016	0,052
16	0,0003	0,005	0,022

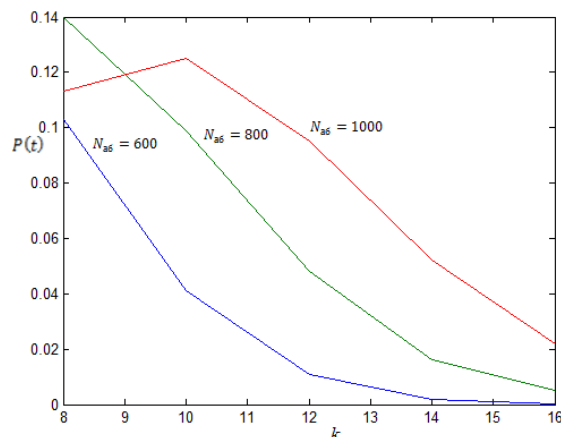


Рис.12. Залежність ймовірності того, що за одну годину зателефонує фіксована кількість абонентів стандарту CDMA

Висновки

При збільшенні кількості одиночних вібраторів лінійної антенної решітки з $N=4$ до $N=8$ для $d = \lambda/2$ та $N=4$ до $N=8$ для $d = \lambda/4$ дальність максимального випромінювання зростає в двічі, а ширина діаграми направленості зменшиться в тричі.

Проте при однаковій кількості одиночних вібраторів ($N=8$) площа покриття стільника антенною решіткою при $d = \lambda/4$ базової станції буде в тричі більша ніж антенною решіткою при $d = \lambda/2$.

Для забезпечення максимального покриття стільника по дальності економічно вигідно використовувати лінійні антенні решітки базових станцій з кількості одиночних вібраторів не менше $N=8$ та відстанню між ними $d = \lambda/4$.

Коефіцієнт направленої дії для 6-секторної антени базової станції складає 13,5 дБ (22,7 раз), а для 3-секторної антени складає 10,68 дБ (11,7 раз). Тобто використання 6-секторної антени збільшує потужність сигналу P_c в напрямку максимуму головного пелюстка, тим самим збільшує радіус дії комірки (зону покриття базової станції). Середнє значення потужності сигналу $P_{ср.с}$ в інших напрямках зменшується, що буде створювати менший рівень завад на сусідні спільно-каналні комірки відповідного кластеру.

За максимальної кількості абонентів в стільнику ($N_{аб}=374$) стандарту GSM-1800 при кількості викликів від 2-х до 8-и абонентів за годину ймовірність виклику буде складати 0,166-0,023. А для стандарту CDMA при максимальній кількості абонентів в стільнику ($N_{аб}=1000$) при кількості викликів 8-и до 16-и за годину буде складати 0,113-0,022. Тобто ефективність використання стандарту CDMA, щодо телетрафіку буде кращий ніж стандарту GSM-1800.

Література

1. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами : учеб. пособ. / Сукачев Э.А. – [3-е изд., перераб. и дополн.]. – Одесса : ОНАС им. А.С. Попова, 2013. – 256 с.
2. http://cdma-mobile.net/pages/page_66/
3. <http://www.tehcom.com/Technologies/GSM/GSM.htm>
4. Фрадин А.З. Антенно-фидерные устройства : учеб. пособие для вузов связи / Фрадин А.З. – М. : Связь, 1977. – 440 с.
5. Маковеева М.М. Системы связи с подвижными объектами / Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. – М. : Радио и связь, 2002. – 440 с.
6. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM / Попов В.И. – М. : Эко-Трендз, 2005. – 296 с.

Рецензія/Peer review : 22.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 13.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор В.В. Мартинюк

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В СИСТЕМАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ПРИ ВІДПОВІДНИХ СПІВВІДНОШЕННЯХ СИГНАЛ/ШУМ НА ЙМОВІРНІСТЬ БІТОВОЇ ПОМИЛКИ ТА ЧИСЛА МАКСИМАЛЬНО АКТИВНИХ АБОНЕНТІВ

Стаття присвячена дослідженню впливу швидкості передачі даних в коміркових системах рухомого радіозв'язку з кодовим розподілом каналів при відповідних співвідношеннях сигнал/шум на вході приймача на ймовірність біткової помилки та знаходженню числа максимально активних абонентів в комірці. Розглянуто застосування завадостійких методів модуляції, ефективних систем багатостанційного доступу розподілу каналів, зменшення внутрішньосистемних завад. Наводяться розрахункові формули для визначення відношення сигнал/шум в будь-якій точці мобільного зв'язку, а також для контролю ступеня зміни цього відношення при переміщенні мобільної станції.

Ключові слова: швидкість передачі даних, ймовірність біткової помилки, співвідношення сигнал/шум, стандарт CDMA, абонентська ємність.

V.I. LUZHANSKIY, L.V. KARPOVA, Y.V. MARIINA
Khmelnytsky National University

THE INFLUENCE OF THE SPEED OF DATA TRANSMISSION IN MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS WITH APPROPRIATE RATIO SIGNAL/NOISE ON THE PROBABILITY OF BIT ERROR AND THE MAXIMUM NUMBER OF ACTIVE SUBSCRIBERS

The article is devoted research of influence of speed of data transmission in a cellular mobile radio system with code division of channels in appropriate ratios of signal/noise at the input of the receiver the probability of bit error and finding the maximum number of active subscribers in the cell. The paper describes the application of error-correcting modulation techniques, effective systems balatonring access to distribution channels, reduce system noise internally. Calculation formulas for determining the signal-to-noise ratio at any point in mobile communications and also to control the degree of change of this relationship when moving mobile station.

Keywords: speed of data transmission, probability of bit error, the ratio signal/noise, CDMA, subscriber capacity.

Вступ

Розвиток мобільного Інтернету вимагає багатократного підвищення швидкості передачі даних. Причиною розвитку високошвидкісних технологій стало зростання попиту на смартфони, планшети та інші інтернет-пристрої, які використовують широкосмуговий доступ до мереж зв'язку.

В той же час підвищення швидкості цифрових систем мобільного зв'язку потребує застосування завадостійких методів модуляції, ефективних систем багатостанційного доступу розподілу каналів, зменшення внутрішньосистемних завад та забезпечення максимально можливого числа абонентів в комірці при допустимій ймовірності символічних та бітових помилок.

Аналіз стану досліджень та публікацій.

Аналіз літературних джерел [1–5] показує недостатність проведених досліджень у цьому напрямку.

Формування цілі.

Метою даної роботи є дослідження впливу високої швидкості цифрових потоків інформації мобільних коміркових мереж та числа максимально активних абонентів в комірці на задану якість зв'язку.

Результати дослідження.

Насамперед визначимо потужність сигналу на вході приймача.

$$P_c = 10^{0.1 \cdot P_c} \quad (1)$$

де P_c – потужність сигналу на вході, Вт; p_c – задана потужність на вході приймача, дБВт. Тривалість тактового інтервалу(тривалість одного біту)дорівнює

$$T = 1 / R. \quad (2)$$

Енергія, яка витрачається на передачу одного біта визначається наступним чином:

$$E_b = P_c \cdot T. \quad (3)$$

Потужність шумів на вході приймача можна визначити по формулі [6] :

$$P_{ш.нр} = n \cdot k \cdot \Delta f_{нр}, \quad (4)$$

де n – коефіцієнт шуму приймача ($n = 9$ дБ); $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Вт/Гц · град – стала Больцмана; $T_0 = 290$ К – шумова температура в градусах Кельвіна; $\Delta f_{нр}$ – ширина смуги пропускання високо частотного тракту приймача.

Звідси одностороння спектральна щільність потужності білого шуму може бути представлена як:

$$N_0 = n \cdot k \cdot T_0, \quad (5)$$

що дозволяє записати:

$$N_0 = k \cdot T_0 + n = -204 + 9 = -195 \frac{\partial \text{Б} \cdot \text{Вт}}{\text{Гц}}. \quad (6)$$

Останній результат можна переписати у вигляді:

$$N_0 = 10^{-19.5} = 3.16 \cdot 10^{-20} \frac{\text{Вт}}{\text{Гц}}. \quad (7)$$

Відношення сигнал/шум на вході приймача знаходиться як:

$$E_b / N_0. \quad (8)$$

Ймовірність помилки розраховується:

$$P_b = Q \left(\sqrt{\frac{2 \cdot E_b}{N_0}} \right). \quad (9)$$

Визначимо ймовірність бітової помилки в системах мобільного зв'язку з фазовою маніпуляцією ФМ-2 (BPSK) для забезпечення якості прийому інформації в межах ймовірності бітової помилки $10^{-6} - 10^{-8}$.

При швидкості передачі $R=1.23$ Мбіт/с визначимо максимально допустиму потужність сигналу ($p_{c,\max}$) на вході приймача, яка забезпечує максимальну якість прийому інформації в межах ймовірності бітової помилки 10^{-8} .

Знаходимо Q -функцію [1] для ймовірності помилки 10^{-8} ($Q(5.57)$). За формулою (9) знаходимо значення $E_b = 4.9 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Тривалість тактового інтервалу рівний $T = 1/R = 1/1.23 \cdot 10^6 = 8.13 \cdot 10^{-7}$ с.

Згідно формул (3) та (1) визначаємо $p_{c,\max}$.

$$p_{c,\max} = \frac{E_b}{T} = \frac{4.9 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с}} = 0.603 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} = -122.2 \text{ дБ Вт}.$$

Аналогічно знаходимо значення мінімально допустимої потужності на вході приймача при ймовірності бітової помилки 10^{-6} ($Q(4.74)$) [1].

$$p_{c,\min} = \frac{E_b}{T} = \frac{3.55 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с}} = 0.437 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} = -123.6 \text{ дБ Вт}.$$

Визначимо ймовірність бітових помилок в межах динамічного діапазону потужності сигналу на вході приймача ($p_{c,\max} = -122.2$ дБВт; $p_{c,\min} = -123.6$ дБВт)

Знайдемо потужність сигналу на вході приймача

$$\begin{aligned} P_{c1} &= 10^{0.1 \cdot (-122.2)} = 0.603 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, & P_{c2} &= 10^{0.1 \cdot (-122.4)} = 0.575 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \\ P_{c3} &= 10^{0.1 \cdot (-122.6)} = 0.55 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, & P_{c4} &= 10^{0.1 \cdot (-122.8)} = 0.523 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \\ P_{c5} &= 10^{0.1 \cdot (-123)} = 0.501 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, & P_{c6} &= 10^{0.1 \cdot (-123.2)} = 0.479 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \\ P_{c7} &= 10^{0.1 \cdot (-123.4)} = 0.457 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, & P_{c8} &= 10^{0.1 \cdot (-123.49)} = 0.448 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \\ P_{c9} &= 10^{0.1 \cdot (-123.55)} = 0.442 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, & P_{c10} &= 10^{0.1 \cdot (-123.6)} = 0.437 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \\ P_{c1} &= P_{c,\max} = 0.603 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, & P_{c10} &= P_{c,\min} = 0.437 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}. \end{aligned}$$

Тривалість тактового інтервалу, тобто тривалість одного біта, рівна

$$T_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{1.23 \cdot 10^6 \text{ біт/с}} = 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с}.$$

Енергія, яка витрачається на передачу одного біта визначається наступним чином:

$$\begin{aligned} E_{b1} &= P_{c1} \cdot T_1 = 0.603 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.9 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b2} &= P_{c2} \cdot T_1 = 0.575 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.67 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b3} &= P_{c3} \cdot T_1 = 0.55 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.47 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b4} &= P_{c4} \cdot T_1 = 0.523 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.25 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b5} &= P_{c5} \cdot T_1 = 0.501 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.07 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b6} &= P_{c6} \cdot T_1 = 0.479 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 3.89 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b7} &= P_{c7} \cdot T_1 = 0.457 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 3.72 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b8} &= P_{c8} \cdot T_1 = 0.448 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 3.64 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b9} &= P_{c9} \cdot T_1 = 0.442 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 3.59 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \\ E_{b10} &= P_{c10} \cdot T_1 = 0.437 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 8.13 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 3.55 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}. \end{aligned}$$

Потужність шумів на вході приймача:

$$N_0 = 10^{-19.5} = 3.16 \cdot 10^{-20} \frac{\text{Вт}}{\text{Гц}}$$

Знаходимо відношення сигнал/шум на вході приймача:

$$\frac{E_{b1}}{N_0} = \frac{4.9 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 15.51.$$

$$\frac{E_{b2}}{N_0} = \frac{4.67 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 14.78.$$

$$\frac{E_{b3}}{N_0} = \frac{4.47 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 14.15.$$

$$\frac{E_{b4}}{N_0} = \frac{4.25 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 13.45.$$

$$\frac{E_{b5}}{N_0} = \frac{4.07 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.88.$$

$$\frac{E_{b6}}{N_0} = \frac{3.89 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.31.$$

$$\frac{E_{b7}}{N_0} = \frac{3.72 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 11.77.$$

$$\frac{E_{b8}}{N_0} = \frac{3.64 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 11.52.$$

$$\frac{E_{b9}}{N_0} = \frac{3.59 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 11.36.$$

$$\frac{E_{b10}}{N_0} = \frac{3.55 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 11.23.$$

Розраховуємо ймовірність бітової помилки:

$$P_{b1} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.9 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.57) = 1.274 \cdot 10^{-8}.$$

$$P_{b2} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.67 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.44) = 2.664 \cdot 10^{-8}.$$

$$P_{b3} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.47 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.32) = 5.188 \cdot 10^{-8}.$$

$$P_{b4} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.25 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.19) = 1.051 \cdot 10^{-7}.$$

$$P_{b5} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.07 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.08) = 1.887 \cdot 10^{-7}.$$

$$P_{b6} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.89 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.96) = 3.525 \cdot 10^{-7}.$$

$$P_{b7} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.72 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.85) = 0.6173 \cdot 10^{-6}.$$

$$P_{b8} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.64 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.8) = 0.7933 \cdot 10^{-6}.$$

$$P_{b9} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.59 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.77) = 0.9211 \cdot 10^{-6}.$$

$$P_{b10} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.55 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.74) = 1.069 \cdot 10^{-6}.$$

Таблиця 1

Залежність значення ймовірності бітової помилки від потужності сигналу на вході приймача для швидкості 1.23 Мбіт/с

Ймовірність бітової помилки, 10^{-7}	0.127	0.266	0.519	1.051	1.887	3.525	6.173	7.933	9.211
Потужність сигналу, дБВт	-122.2	-122.4	-122.6	-122.8	-123	-123.2	-123.4	-123.49	-123.55
Співвідношення сигнал/шум, E_b/N_0	15.51	14.78	14.15	13.45	12.88	12.31	11.77	11.52	11.36

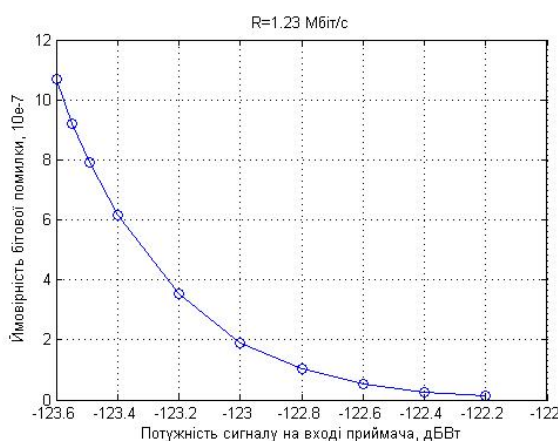


Рис. 1. Залежність значення ймовірності бітової помилки від потужності сигналу на вході приймача

При швидкості передачі $R=2.048$ Мбіт/с визначимо максимально допустиму потужність сигналу ($P_{c,max}$) на вході приймача, яка забезпечує якість прийому інформації в межах ймовірності бітової помилки 10^{-8} .

Знаходимо Q-функцію [1] для ймовірності помилки 10^{-8} (Q(5.6)). По формулі (9) знаходимо значення $E_b = 4.95 \cdot 10^{-19}$ Джс.

Тривалість тактового інтервалу рівний $T = 1/R = 1/2.048 \cdot 10^6 = 4.88 \cdot 10^{-7}$ с.

Згідно формул (3) та (1) визначаємо $P_{c,max}$.

$$P_{c,max} = \frac{E_b}{T} = \frac{4.95 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с}} = 1.014 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} = -119.94 \text{ дБ Вт}.$$

Аналогічно знаходимо значення мінімально допустимої потужності на вході приймача при ймовірності бітової помилки 10^{-6} (Q(4.75)) [1].

$$P_{c,min} = \frac{E_b}{T} = \frac{3.57 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с}} = 0.731 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} = -121.36 \text{ дБ Вт}.$$

Визначаємо потужність сигналу на вході приймача.

$$P_{c1} = 10^{0.1 \cdot (-119.94)} = 1.014 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \quad P_{c2} = 10^{0.1 \cdot (-120.3)} = 0.933 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}.$$

$$P_{c3} = 10^{0.1 \cdot (-120.7)} = 0.851 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \quad P_{c4} = 10^{0.1 \cdot (-120.77)} = 0.838 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}.$$

$$P_{c5} = 10^{0.1 \cdot (-120.8)} = 0.832 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \quad P_{c6} = 10^{0.1 \cdot (-120.84)} = 0.824 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}.$$

$$P_{c7} = 10^{0.1 \cdot (-120.9)} = 0.813 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \quad P_{c8} = 10^{0.1 \cdot (-121)} = 0.794 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}.$$

$$P_{c9} = 10^{0.1 \cdot (-121.15)} = 0.767 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \quad P_{c10} = 10^{0.1 \cdot (-121.36)} = 0.731 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}.$$

$$P_{c1} = P_{c,max} = 1.014 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}, \quad P_{c10} = P_{c,min} = 0.731 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}.$$

Тривалість тактового інтервалу, тобто тривалість одного біта, рівна

$$T_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{2.048 \cdot 10^6 \text{ біт/с}} = 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с}.$$

Енергія, яка витрачається на передачу одного біта визначається наступним чином:

$$E_{b1} = P_{c1} \cdot T_2 = 1.014 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.95 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

$$E_{b2} = P_{c2} \cdot T_2 = 0.933 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.55 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

$$E_{b3} = P_{c3} \cdot T_2 = 0.851 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.15 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

$$E_{b4} = P_{c4} \cdot T_2 = 0.838 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.09 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

$$E_{b5} = P_{c5} \cdot T_2 = 0.832 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.06 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

$$E_{b6} = P_{c6} \cdot T_2 = 0.824 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 4.02 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

$$E_{b7} = P_{c7} \cdot T_2 = 0.813 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 3.97 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

$$E_{b8} = P_{c8} \cdot T_2 = 0.794 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 3.87 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

$$E_{b9} = P_{c9} \cdot T_2 = 0.767 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 3.74 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

$$E_{b10} = P_{c10} \cdot T_2 = 0.731 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot 4.88 \cdot 10^{-7} \text{ с} = 3.57 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}.$$

Потужність шумів на вході приймача:

$$N_0 = 10^{-19.5} = 3.16 \cdot 10^{-20} \frac{\text{Вт}}{\text{Гц}}.$$

Знаходимо відношення сигнал/шум на вході приймача.

$$\frac{E_{b1}}{N_0} = \frac{4.95 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 15.66, \quad \frac{E_{b2}}{N_0} = \frac{4.55 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 14.44.$$

$$\frac{E_{b3}}{N_0} = \frac{4.15 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 13.13, \quad \frac{E_{b4}}{N_0} = \frac{4.09 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.94.$$

$$\frac{E_{b5}}{N_0} = \frac{4.06 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.85, \quad \frac{E_{b6}}{N_0} = \frac{4.02 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.72.$$

$$\frac{E_{b7}}{N_0} = \frac{3.97 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.56, \quad \frac{E_{b8}}{N_0} = \frac{3.87 \cdot 10^{-19} \text{ Джс}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.25.$$

$$\frac{E_{b9}}{N_0} = \frac{3.74 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 11.84.$$

$$\frac{E_{b10}}{N_0} = \frac{3.57 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 11.3.$$

Розраховуємо ймовірність помилки:

$$P_{b1} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.95 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.6) = 1.072 \cdot 10^{-8}, \quad P_{b2} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.55 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.37) = 3.937 \cdot 10^{-8}.$$

$$P_{b3} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.15 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.12) = 1.528 \cdot 10^{-7}, \quad P_{b4} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.09 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.09) = 1.790 \cdot 10^{-7}.$$

$$P_{b5} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.06 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.07) = 1.989 \cdot 10^{-7}, \quad P_{b6} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.02 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.04) = 2.328 \cdot 10^{-7}.$$

$$P_{b7} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.97 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.01) = 2.722 \cdot 10^{-7}, \quad P_{b8} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.87 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.95) = 3.711 \cdot 10^{-7}.$$

$$P_{b9} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.74 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.87) = 0.5580 \cdot 10^{-6}, \quad P_{b10} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.57 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.75) = 1.017 \cdot 10^{-6}.$$

Таблиця 2

Залежність значення ймовірності бітової помилки від потужності сигналу на вході приймача для швидкості 2.048 Мбіт/с

Ймовірність бітової помилки, 10^{-7}	0.107	0.394	1.528	1.790	1.989	2.328	2.722	3.711	5.580	10.17
Потужність сигналу, дБВт	-119.94	-120.3	-120.7	-120.77	-120.8	-120.84	-120.9	-121	-121.15	-121.36
Співвідношення сигнал/шум, E_b/N_0	15.66	14.44	13.13	12.94	12.85	12.72	12.56	12.25	11.84	11.3

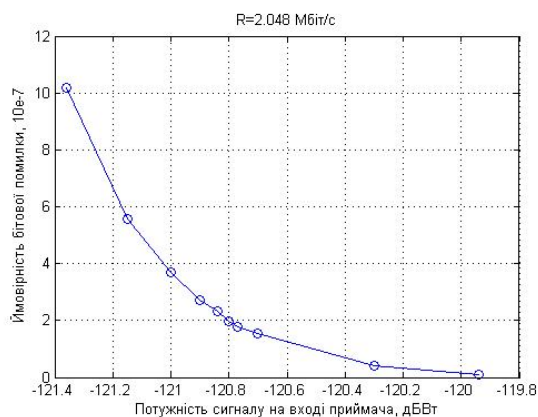


Рис. 2. Залежність значення ймовірності бітової помилки від потужності сигналу на вході приймача

При швидкості передачі $R=1000$ Мбіт/с визначимо максимально допустиму потужність сигналу ($P_{с. \max}$) на вході приймача, яка забезпечує якість прийому інформації в межах ймовірності бітової помилки 10^{-8} .

Знаходимо Q-функцію [1] для ймовірності помилки 10^{-8} ($Q(5.58)$). По формулі (9) знаходимо значення $E_b = 4.92 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Тривалість тактового інтервалу рівний $T = 1/R = 1/10^9 = 10^{-9}$ с.

Згідно формул (3) та (1) визначаємо $P_{с. \max}$.

$$P_{с. \max} = \frac{E_b}{T} = \frac{4.92 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{10^{-9} \text{ с}} = 4.92 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} = -93.08 \text{ дБ Вт}.$$

Аналогічно знаходимо значення мінімально допустимої потужності на вході приймача при ймовірності бітової помилки 10^{-6} ($Q(4.68)$) [1].

$$P_{c, \min} = \frac{E_b}{T} = \frac{3.46 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{10^{-9} \text{ с}} = 3.46 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} = -94.61 \text{ дБ Вт}.$$

Визначаємо потужність сигналу на вході приймача.

$$P_{c1} = 10^{0.1 \cdot (-93.08)} = 4.92 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}, \quad P_{c2} = 10^{0.1 \cdot (-93.2)} = 4.79 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}.$$

$$P_{c3} = 10^{0.1 \cdot (-93.4)} = 4.57 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}, \quad P_{c4} = 10^{0.1 \cdot (-93.75)} = 4.22 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}.$$

$$P_{c5} = 10^{0.1 \cdot (-93.8)} = 4.17 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}, \quad P_{c6} = 10^{0.1 \cdot (-94)} = 3.98 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}.$$

$$P_{c7} = 10^{0.1 \cdot (-94.1)} = 3.89 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}, \quad P_{c8} = 10^{0.1 \cdot (-94.15)} = 3.85 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}.$$

$$P_{c9} = 10^{0.1 \cdot (-94.4)} = 3.63 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}, \quad P_{c10} = 10^{0.1 \cdot (-94.61)} = 3.46 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}.$$

$$P_{c1} = P_{c, \max} = 4.92 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}, \quad P_{c10} = P_{c, \min} = 3.46 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}.$$

Тривалість тактового інтервалу, тобто тривалість одного біта, рівна

$$T_3 = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{1 \cdot 10^9 \text{ біт/с}} = 10^{-9} \text{ с}.$$

Енергія, яка витрачається на передачу одного біта визначається наступним чином:

$$E_{b1} = P_{c1} \cdot T_3 = 4.92 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 4.92 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

$$E_{b2} = P_{c2} \cdot T_3 = 4.79 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 4.79 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

$$E_{b3} = P_{c3} \cdot T_3 = 4.57 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 4.57 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

$$E_{b4} = P_{c4} \cdot T_3 = 4.22 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 4.22 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

$$E_{b5} = P_{c5} \cdot T_3 = 4.17 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 4.17 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

$$E_{b6} = P_{c6} \cdot T_3 = 3.98 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 3.98 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

$$E_{b7} = P_{c7} \cdot T_3 = 3.89 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 3.89 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

$$E_{b8} = P_{c8} \cdot T_3 = 3.85 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 3.85 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

$$E_{b9} = P_{c9} \cdot T_3 = 3.63 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 3.63 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

$$E_{b10} = P_{c10} \cdot T_3 = 3.46 \cdot 10^{-10} \text{ Вт} \cdot 10^{-9} \text{ с} = 3.46 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Потужність шумів на вході приймача:

$$N_0 = 10^{-19.5} = 3.16 \cdot 10^{-20} \frac{\text{Вт}}{\text{Гц}}.$$

Знаходимо відношення сигнал/шум на вході приймача.

$$\frac{E_{b1}}{N_0} = \frac{4.92 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 15.57, \quad \frac{E_{b2}}{N_0} = \frac{4.79 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 15.14.$$

$$\frac{E_{b3}}{N_0} = \frac{4.57 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 14.46, \quad \frac{E_{b4}}{N_0} = \frac{4.22 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 13.35.$$

$$\frac{E_{b5}}{N_0} = \frac{4.17 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 13.2, \quad \frac{E_{b6}}{N_0} = \frac{3.98 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.59.$$

$$\frac{E_{b7}}{N_0} = \frac{3.89 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.31, \quad \frac{E_{b8}}{N_0} = \frac{3.85 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 12.18.$$

$$\frac{E_{b9}}{N_0} = \frac{3.63 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 11.49, \quad \frac{E_{b10}}{N_0} = \frac{3.46 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{3.16 \cdot 10^{-20} \text{ Вт / Гц}} = 10.95.$$

Розраховуємо ймовірність помилки:

$$P_{b1} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.92 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.58) = 1.203 \cdot 10^{-8}, \quad P_{b2} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.79 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.5) = 1.899 \cdot 10^{-8}.$$

$$P_{b3} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.57 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.38) = 3.724 \cdot 10^{-8}, \quad P_{b4} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.22 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.17) = 1.170 \cdot 10^{-7}.$$

$$P_{b5} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.17 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.14) = 1.374 \cdot 10^{-7}. \quad P_{b5} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 4.06 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.07) = 1.989 \cdot 10^{-7}.$$

$$P_{b6} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.98 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(5.02) = 2.584 \cdot 10^{-7}. \quad P_{b7} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.89 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.96) = 3.525 \cdot 10^{-7}.$$

$$P_{b8} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.85 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.94) = 3.906 \cdot 10^{-7}. \quad P_{b9} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.63 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.79) = 0.834 \cdot 10^{-6}.$$

$$P_{b10} = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 3.46 \cdot 10^{-19}}{3.16 \cdot 10^{-20}}}\right) = Q(4.68) = 1.434 \cdot 10^{-6}.$$

Таблиця 3

Залежність значення ймовірності бітової помилки від потужності сигналу на вході приймача для швидкості 1000 Мбіт/с

Ймовірність бітової помилки, 10^{-7}	0.120	0.19	0.372	1.170	1.374	2.584	3.525	3.906	8.34	14.34
Потужність сигналу, дБВт	-93.08	-93.2	-93.4	-93.75	-93.8	-94	-94.1	-94.15	-94.4	-94.61
Співвідношення сигнал/шум, E_b/N_0	15.57	15.14	14.46	13.35	13.2	12.59	12.31	12.18	11.49	10.95

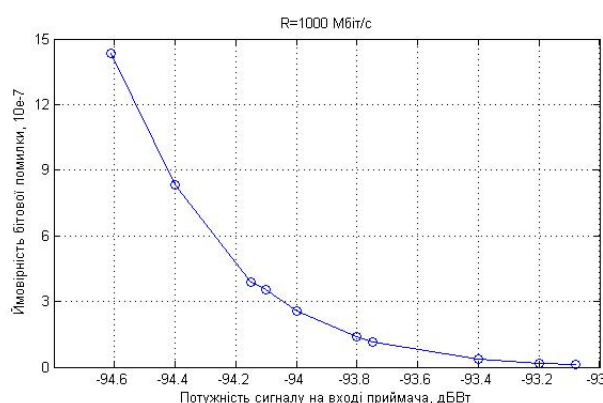


Рис. 3. Залежність значення ймовірності бітової помилки від потужності сигналу на вході приймача

Таблиця 4

Залежність динамічного діапазону потужності сигналу на вході приймача від швидкості передачі інформації в межах ймовірності помилки 10^{-6} до 10^{-8}

швидкість \ потужність	$P_{c.min}$, дБ Вт	$P_{c.max}$, дБ Вт
1.23 Мбіт/с	-123.6	-122.2
2.048 Мбіт/с	-121.36	-119.94
1000 Мбіт/с	-94.61	-93.08

Розрахунок числа користувачів в комірковій системі рухомого радіозв'язку з кодовим розподілом каналів. Системні перешкоди прийому базової станції (БС) в технології багатостанційного доступу з кодовим розподілом каналів (БДКР) створюють передавачі сторонніх мобільних станцій (МС) в «свій» комірці, а також у прилеглих комірках, оскільки всі ці передавачі працюють на одній частоті. Для порівняння зазначимо, що в комірковій системі рухомого радіозв'язку (КСРР) з багатостанційним доступом частотного розподілу каналів і багатостанційним доступом часового розподілу каналів завадовий фон створюється передавачами МС, що знаходяться не в «свій» комірці, а в осередках сусідніх кластерів, тобто досить віддалених від центральної БС.

Для нормальної роботи зворотної лінії необхідно усунути так званий ефект "близький-далекий". Суть його полягає в тому, що потужність сигналів МС, які близько розташовані до БС, на 30–40 дБ перевищує потужність сигналів віддалених станцій, що повністю маскує роботу останніх. Для периферійних МС якість зв'язку знижується особливо сильно в години найбільшого навантаження. Це призводить до ефекту зміни розмірів зони обслуговування з заданою якістю, відомому під назвою «дихання» комірки (cell breathing).

breathing) [2]. Для максимізації абонентської ємності системи необхідно забезпечити на вході приймача БС рівність рівнів сигналів від всіх МС, що знаходяться в комірці.

Вирівнювання рівнів сигналів активних МС на вході приймача БС реалізує схема із замкнутою петлею регулювання [3, 4]. Точність управління потужністю становить $\pm 0,5$ дБ. Базова станція вимірює (E_b / N_0) 16 разів в кожному кадрі, тобто через 1,25 мс і по прямому каналу посиляє команду для зміни потужності МС [5]. Регулювання настільки оперативне, що істотно згладжує навіть швидкі завмирання сигналу.

При ідеальній роботі системи регулювання потужності передавачів МС рівні всіх сигналів на вході приймача БС однакові, тобто $P_{np1} = P_{np2} = \dots = P_{npk} = \dots = P_{npM}$. Тоді відношення сигнал/шум на вході приймача БС можна записати в наступному вигляді:

$$\left(\frac{c}{u}\right)_{\text{вх}} = \frac{P_{npk}}{P_{\text{ш.нр}} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^M P_{npi}}, \quad (10)$$

де $P_{\text{ш.нр}}$ – потужність власних шумів приймача [6].

Зазвичай $P_{\text{ш.нр}}$, P_{npi} і тепловими шумами можна знехтувати. Тоді (10) можна переписати у вигляді

$$\left(\frac{c}{u}\right)_{\text{вх}} = \frac{P_{npk}}{(M-1) \cdot P_{npi}} = \frac{1}{M-1}, \quad (11)$$

де M – кількість одночасно працюючих передавачів абонентів мобільного зв'язку.

Фізичний механізм підвищення відношення сигнал / шум ґрунтується на тому, що для k -го сигналу в кореляторі використовується відповідний йому опорний сигнал, і спектр корисного сигналу стискається. В результаті операції стиснення енергія корисного сигналу виявляється зосередженою в смузі частот вихідного цифрового сигналу. Для всіх інших сигналів використовується в кореляторі псевдовипадкова послідовність (ПВП) не є опорним сигналом, тому після обробки в кореляторі їх спектри залишаються широкопосмуговими, а частка енергії в основній смузі незначна. Ступінь розширення (стиснення) спектра залежить від бази сигналу, яка визначається наступним чином [7]:

$$B = F \cdot T, \quad (12)$$

де F – ширина спектру цифрового сигналу на вході модулятора передавача; T – тривалість символу інформаційної послідовності.

Наприклад, для стандарту cdmaOne $F = 1.2288 \text{ МГц}$ і $T = 1/9.6 \cdot 10^3 \text{ с}$, тому $B = F \cdot T = 1.2288 \cdot 10^6 \text{ Гц} / 9.6 \cdot 10^3 \text{ с} = 128$. База є однією з найважливіших характеристик сигналу з розширеним спектром, вона визначає виграш при кореляційній обробці, або просто виграш обробки [6]. Тобто,

$$\left(\frac{c}{u}\right)_{\text{вих}} = B \cdot \left(\frac{c}{u}\right)_{\text{вх}}. \quad (13)$$

Значення $(c/u)_{\text{вих}}$ відноситься до вузької смугової частини приймача і зазвичай записується еквівалентним виразом E_b / N_0 , де E_b – енергія, витрачена на передачу одного біта; N_0 – спектральна щільність внутрішньо системних завад.

Таким чином, вираз (13) з урахуванням (11) можна переписати як

$$\frac{E_b}{N_0} = B \cdot \frac{1}{M-1}. \quad (14)$$

З (14) легко знайти допустиму кількість активних абонентів в комірці, при якій ще виконуються задані якісні показники:

$$M_n = \frac{B}{E_{bn} / N_{0n}} + 1. \quad (15)$$

де M_n – допустима кількість активних абонентів в комірці; B – база сигналу; E_{bn} – енергія, витрачена на передачу одного біта в комірці; N_{0n} – спектральна щільність внутрішньо системних завад в комірці.

Отже, максимальне число одночасно працюючих МС залежить від бази сигналу B і допустимої величини відношення E_b / N_0 .

Визначимо абонентську ємність – максимальне число активних абонентів в комірці мобільної мережі рухомого радіозв'язку стандарту cdmaOne [1]. Відомо що: $E_b / N_0 = 6 \text{ дБ}$ (4 рази)

$$M = \frac{128}{4} + 1 = 33 \text{ абонента}.$$

Згідно формули (9) при співвідношенні $E_b / N_0 = 6 \text{ дБ}$ (4 рази) знайдемо ймовірність бітової помилки:

$$P_b = Q(\sqrt{E_b / N_0}) = Q(2.83) = 2.33 \cdot 10^{-3}.$$

Допустима кількість активних абонентів в комірі при швидкості $R=1.23 \text{ Мбіт/с}$ згідно формули (15):

$$M_1 = \frac{128}{15.51} + 1 = 9; \quad M_2 = \frac{128}{14.78} + 1 = 9. \quad M_3 = \frac{128}{14.15} + 1 = 10. \quad M_4 = \frac{128}{13.45} + 1 = 10.$$

$$M_5 = \frac{128}{12.88} + 1 = 10.$$

$$M_6 = \frac{128}{12.34} + 1 = 11. \quad M_7 = \frac{128}{11.77} + 1 = 11. \quad M_8 = \frac{128}{11.52} + 1 = 12. \quad M_9 = \frac{128}{11.36} + 1 = 12.$$

$$M_{10} = \frac{128}{11.23} + 1 = 12.$$

Допустима кількість активних абонентів в комірі при швидкості $R=2.048 \text{ Мбіт/с}$ згідно формули (15):

$$M_1 = \frac{128}{15.66} + 1 = 9. \quad M_2 = \frac{128}{14.44} + 1 = 9. \quad M_3 = \frac{128}{13.13} + 1 = 10. \quad M_4 = \frac{128}{12.94} + 1 = 10.$$

$$M_5 = \frac{128}{12.85} + 1 = 10.$$

$$M_6 = \frac{128}{12.72} + 1 = 11. \quad M_7 = \frac{128}{12.56} + 1 = 11. \quad M_8 = \frac{128}{12.25} + 1 = 11. \quad M_9 = \frac{128}{11.84} + 1 = 11.$$

$$M_{10} = \frac{128}{11.3} + 1 = 12.$$

Допустима кількість активних абонентів в комірі при швидкості $R=1000 \text{ Мбіт/с}$ згідно формули (15):

$$M_1 = \frac{128}{15.57} + 1 = 9. \quad M_2 = \frac{128}{15.14} + 1 = 9. \quad M_3 = \frac{128}{14.46} + 1 = 9. \quad M_4 = \frac{128}{13.35} + 1 = 10. \quad M_5 = \frac{128}{13.2} + 1 = 10.$$

$$M_6 = \frac{128}{12.59} + 1 = 11. \quad M_7 = \frac{128}{12.31} + 1 = 11. \quad M_8 = \frac{128}{12.18} + 1 = 11. \quad M_9 = \frac{128}{11.49} + 1 = 12.$$

$$M_{10} = \frac{128}{10.95} + 1 = 12.$$

Таким чином в прямому каналі (БС-МС) можна організувати роботу з 55 абонентами та у зворотному напрямку(каналі) зможуть працювати тільки 33 абонента з ймовірністю бітових помилок $2.33 \cdot 10^{-3}$.

Технічні характеристики стандарту cdmaOne допускають можливість підключення 55 мобільних станцій до БС, проте якість обслуговування абонентів буде при цьому невисокою. Таким чином, рівень взаємних завад безпосередньо визначає абонентську ємність КСРР при БДКР. У зв'язку з цим необхідно зупинитися на цікавій особливості систем з асинхронним кодовим поділом, що отримала назву «м'яке блокування». Відомо, що в системах з багатостанційним доступом частотного розподілу каналів і багатостанційним доступом часового розподілу каналів число фізичних каналів в комірі жорстко фіксоване.

Коли всі канали трафіку зайняті користувачами, відбувається відмова в обслуговуванні, тобто блокування виклику. Можливість блокування з ймовірністю 2% зазвичай вважається допустимою, і виходячи з неї розраховується номінальне число каналів. Інша картина характерна для мереж БДКР. Якщо число активних абонентів вже дорівнює максимальному, який визначається виразом (15), то знову заявки які надходять можна задовольнити, надаючи абонентам в зворотному каналі довгі і короткі ПВП з широким набором циклічних зрушень. Це призведе до деякого зменшення відношення сигнал/шум і зниження якості обслуговування всіх активних користувачів. Таким чином, замість прямої відмови відбувається «м'яке блокування».

Висновки

Динамічний діапазон зміни потужностей на вході приймача знаходиться в межах 1.4 дБ – 1.52 дБ при швидкостях $R_1=1.23 \text{ Мбіт/с}$, $R_2=2.048 \text{ Мбіт/с}$, $R_3=1000 \text{ Мбіт/с}$, який забезпечує ймовірність бітових помилок від 10^{-6} до 10^{-8} .

Отже, при збільшенні швидкості передачі цифрової інформації в мережах мобільного зв'язку від 1.23 Мбіт/с до 1000 Мбіт/с (813 разів) необхідно потужність сигналу на вході приймача підвищити в середньому в 816.5 разів (29.12 дБ), для забезпечення високої якості прийому інформації. При заданих швидкостях передачі кількість активних абонентів в комірі складає від 9 до 12, для яких забезпечується ймовірність

бітових помилок $10^{-6} - 10^{-8}$.

Прямий трафік багатостанційного доступу з кодовим розподілом системи cdmaOne складає 55 каналів. Максимальне число активних абонентів в комірці мобільної мережі рухомого радіозв'язку стандарту cdmaOne буде складати 33 абонента при ймовірності бітової помилки $2.33 \cdot 10^{-3}$, а при 12 активних абонентах – 10^{-6} .

Отже, система cdmaOne буде знаходити раціональний компроміс між максимальною кількістю активних абонентів та допустимо якісним зв'язком.

Література

1. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами : учеб. пособ. / Сукачев Э.А. – [3-е изд., перераб. и дополн.]. – Одесса : ОНАС им. А.С. Попова, 2013. – 256 с.
2. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами : учеб. пособ. / Сукачев Э.А. – [2-е изд., испр. и доп.]. – Одесса : УГАС им. А.С. Попова, 2000. – 119 с.
3. Ратынский М.В. Основы сотовой связи / Ратынский М.В. – М. : Радио и связь, 2000. – 248 с.
4. Системы мобильной связи : учеб. пособ. для вузов / [Ипатов В.П., Орлов В.И., Самойлов И.М. и др.]. – М. : Горячая линия – Телеком, 2003. – 272 с.
5. Берлин А.Н. Сотовые системы связи : учеб. пособ. / Берлин А.Н. – М. : БИНОМ, 2009. – 360 с.
6. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра / Феер К. ; пер. с англ. ; под ред. В.И. Журавлева. – М. : Радио и связь, 2000. – 520 с.
7. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Варакин Л.Е. – М. : Радио и связь, 1985. – 384 с.

Рецензія/Peer review : 2.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 14.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор В.В. Мартинюк

АНАЛІЗ НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ

У даній статті на основі аналізу нормативно-правових документів, наукових праць визначено роль системи інженерно-технічного контролю державного кордону України. Наведено структуру та склад системи інженерно-технічного контролю, виявлено її основні недоліки та узагальнено напрям перспективного розвитку її структури.

Ключові слова: система інженерно-технічного контролю; технічні засоби охорони і захисту.

J.A. BABIY

National Academy of State Border Guard Service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytsky, Ukraine

ANALYSIS OF TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF THE SYSTEM ENGINEERING AND TECHNICAL CONTROL

The aim is to study the current system engineering controls, identify its major shortcomings requirements for generalization of perspective development of systems and structures promising model of engineering controls. In this article, based on an analysis of legal documents, scientific papers the role of systems engineering and technical control of the state border of Ukraine. The structure and composition of systems engineering controls, found its main weaknesses and summarizes the direction of future development of its structure. Today one of the promising areas of systems engineering controls, with the aim of continuous coverage of the situation at the state border and timely response to its changes is to improve the technical means of border protection as the only reliable source of information about violations at the state border. The analysis of studies suggest that one of the most promising ways to improve the effectiveness of the engineering control is the integration of various technical means of protection and hardware protection as integral elements of the grid.

Keywords: system engineering controls; technical means of protection and security.

Постановка проблеми у загальному вигляді. З метою: визначення напрямків діяльності державних органів із забезпечення безпеки і відкритості державного кордону, забезпечення охорони державного кордону, пропуску у встановленому порядку осіб через державний кордон, транспортних засобів та товарів; здійснення інформаційної, оперативно-службової діяльності; технічної (що базується на використанні системи інженерно-технічного контролю) та фізичної складових, впровадження сучасних систем контролю, а також проведення аналізу ризиків та здійснення запобіжних заходів, забезпечення міжнародного, прикордонного та міжвідомчого співробітництва та ін., 11 листопада 2015 року Кабінетом Міністрів України було схвалено Концепцію Державної цільової правоохоронної програми «Облаштування та реконструкція державного кордону» на період до 2020 року [1].

На сьогоднішній день одним із перспективних напрямків розвитку системи інженерно-технічного контролю (СІТК), з метою постійного висвітлення обстановки на державному кордоні та вчасного реагування на її зміни, є удосконалення технічних засобів охорони (ТЗО) кордону, як єдиним достовірним джерелом інформації про правопорушення на державному кордоні.

На сьогоднішній день у нормативно-правових документах Державної прикордонної служби України (ДПСУ) [2-5] напрацьовані підходи щодо удосконалення СІТК, відповідно до яких удосконалення ТЗОК залишається актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор. Нормативно-правовими документами визначені завдання із забезпечення ефективної реалізації політики безпеки у сфері захисту кордону та охорони державного кордону (ДК), визначені цілі розвитку ДПСУ, в тому числі, забезпечення складових системи охорони ДК, щодо ТЗО. У документах [5–10] визначено роль та значення СІТК в сучасній моделі охорони ДК України.

Метою роботи є дослідження діючої СІТК, виявлення її основних недоліків, узагальнення вимог до засобів перспективної системи та розробка структури перспективної моделі СІТК.

Виклад основного матеріалу дослідження. Оперативно-службова діяльність органу охорони ДК являє собою комплекс правоохоронних, оперативних, режимних та інших заходів, які спрямовані на реалізацію функцій ДПСУ. Результати оперативно-службової діяльності органу охорони ДК залежать від двох груп факторів:

рівня організації діяльності, під якими розуміється обґрунтованість організаційно-штатної структури, оптимальність планів основних заходів, включаючи забезпечення ресурсами всіх видів діяльності;

обсягу ресурсів, під якими розуміється особовий склад, інженерні засоби, ТЗО кордону і спеціальна техніка та від якості ресурсів (тактико-технічних характеристик технічних засобів та спеціальної техніки).

Звідси очевидним є те, що інженерно-технічна складова органу охорони ДК на сьогодні має одне з найважливіших значень в охороні кордону, особливо, взявши до уваги такі чинники як технічна оснащеність

правопорушників (ПП), економічні труднощі як в середині країни, так і за її межами, що сприяє незаконній міграції та контрабандній діяльності, а також знаходження безпосередньо депресивних районів в зоні відповідальності органу охорони ДК.

Інженерно-технічна складова, або по-іншому СІТК, сучасної моделі охорони кордону являє собою синтез різнорідних систем, засобів та окремих пристроїв, що дає змогу звести до мінімуму ризики впливу людського фактору на якість служби, суттєво підвищити ефективність та інтенсивність оперативно-службової діяльності прикордонних підрозділів. СІТК створюється з метою ускладнення дій ПП та забезпечення прикордонним підрозділам належних умов для своєчасного їх виявлення та затримання, ефективного застосування озброєння і техніки, своєчасного і прихованого розгортання, маневру своїх сил та успішного виконання поставлених завдань. Вона реалізується шляхом: дистанційного контролю за рубежами (ділянками, об'єктами) сигналізаційними засобами (комплексами, системами, приладами); радіолокаційного, тепловізійного спостереження в темний час доби і в денний за умов обмеженої видимості; створення мережі пунктів (позицій) візуального та радіотехнічного спостереження; впровадження автоматизованих систем паспортного контролю та місць (позицій) огляду транспортних засобів та вантажів у пунктах пропуску через ДК; створення автоматизованих робочих місць керівників та чергових служб прикордонних підрозділів.

У СІТК можна виокремити три складові: підсистема інженерного контролю, підсистема технічного контролю, підсистема забезпечення інженерно-технічного контролю, які показані на рис. 1.

Процес функціонування СІТК повинен здійснюватися безперервно як у часі, так і у просторі охорони кордону. Очевидно, буде доречним розглядати період розвитку СІТК з 2014 року як її новий етап, який характеризується особливостями. Сучасну модель охорони ДК України наведено на рис. 1 [11].

Для функціонування підсистеми технічного контролю використовуються різнорідні ТЗО кордону, які в свою чергу є різними за своєю інформаційною здатністю.

Інформаційна здатність ТЗО кордону може суттєво впливати на виконання завдань з охорони державного кордону (забезпечення ефективних умов затримання ПП). За інформаційною здатністю ТЗО кордону можна класифікувати таким чином: засоби, які виявляють лише факт знаходження ПП в чутливій зоні (впливу на чутливий елемент); засоби, які визначають параметри руху ПП (напрямок, швидкість) та здійснюють ідентифікацію його за певними ознаками; засоби, які визначають координати ПП, що є сутністю визначення місцеположення; засоби, які забезпечують візуальне спостереження за ПП з метою його ідентифікації; засоби, які ускладнюють пересування ПП.

До підсистеми забезпечення інженерно-технічного контролю належать носії технічних засобів охорони, які подані на рис. 1, та інженерні споруди, на яких можуть знаходитись оптичні, оптико-електронні прилади спостереження, тепловізійні засоби, радіолокаційні станції, прожекторні станції. Такими інженерними спорудами є блокпости, відкриті та приховані пункти спостереження, які включають спостережні пункти, позиції для тепловізійних, радіолокаційних та прожекторних станцій (комплексів). Місця розташування споруд для візуального та технічного спостереження обираються з урахуванням забезпечення якомога більшого огляду, виявлення об'єктів (цілей) на граничних відстанях. Як відкриті спостережні пункти у прикордонних підрозділах найбільш широко розповсюджені металеві спостережні вежі. Основними типами прихованих спостережних пунктів є заглиблені в землю споруди для спостереження через оглядову щілину або перископ. Спорудами для ведення технічного спостереження є позиції стаціонарних та пересувних постів технічного спостереження.

Актуальною проблемою є забезпечення постів технічного спостереження, блокпостів, тимчасових парків автомобільної техніки високоінформативними сигналізаційними засобами охорони (СЗО), які б забезпечували додатково до виявлення ПП також і напрямки його руху та відстань до нього.

Складність функціонування СІТК обумовлена: розподіленістю її елементів вздовж ДК, що потребує вирішення низки технічних завдань щодо отримання й аналізу інформації, прийняття рішень на управління засобами, які розміщуються на території зі значною протяжністю; організаційною ієрархічністю розподілу прийняття рішень у підрозділах охорони з централізованим підпорядкуванням; у перспективі технічною багатофункціональністю процесу охорони кордону, що забезпечуватиме ефективні умови затримання ПП; значною різноманітністю ТЗО і засобів, які можуть бути потенційно використані в охороні кордону.

Використання засобів СІТК повинно відповідати вимогам: забезпечувати окрім виявлення також і спостереження за рухомими об'єктами на рубежі основних інженерних споруд; гомеостатичності функціонування засобів незалежно від сезонних та погодних умов; стійкості до завдань та помилкових спрацювань (від тварин, індустриальних завод, тощо); екологічної безпеки; економічності виготовлення і експлуатації; мінімізація потреб в обслуговуванні; універсальності застосування на різних ділянках кордону.

На даний час єдиним ТЗО, що застосовується для охорони протяжних ділянок кордону України є система оптико-електронного спостереження (СОЕС). Проте, лінійна частина, тобто та апаратура, яка встановлюється вздовж державного кордону даної системи не ефективно функціонує на закритій місцевості, що дозволяє розглядати СОЕС перспективним ТЗО лише для окремих ділянок сухопутного кордону із забезпеченням прямої видимості.

Загороджувальні засоби не відповідають сучасним вимогам. Масковані засоби виявлення на

електричний елементній базі досить високої вартості. Засоби спостереження забезпечують досить високий рівень завадостійкості виявлення ПП і розрізнення групи ПП, що характерно для незаконної міграції. Тепловізори, радіолокаційні системи, оптичні прилади як засоби спостереження потребують прямої видимості і використовуються здебільшого з носіїв або на вежах.

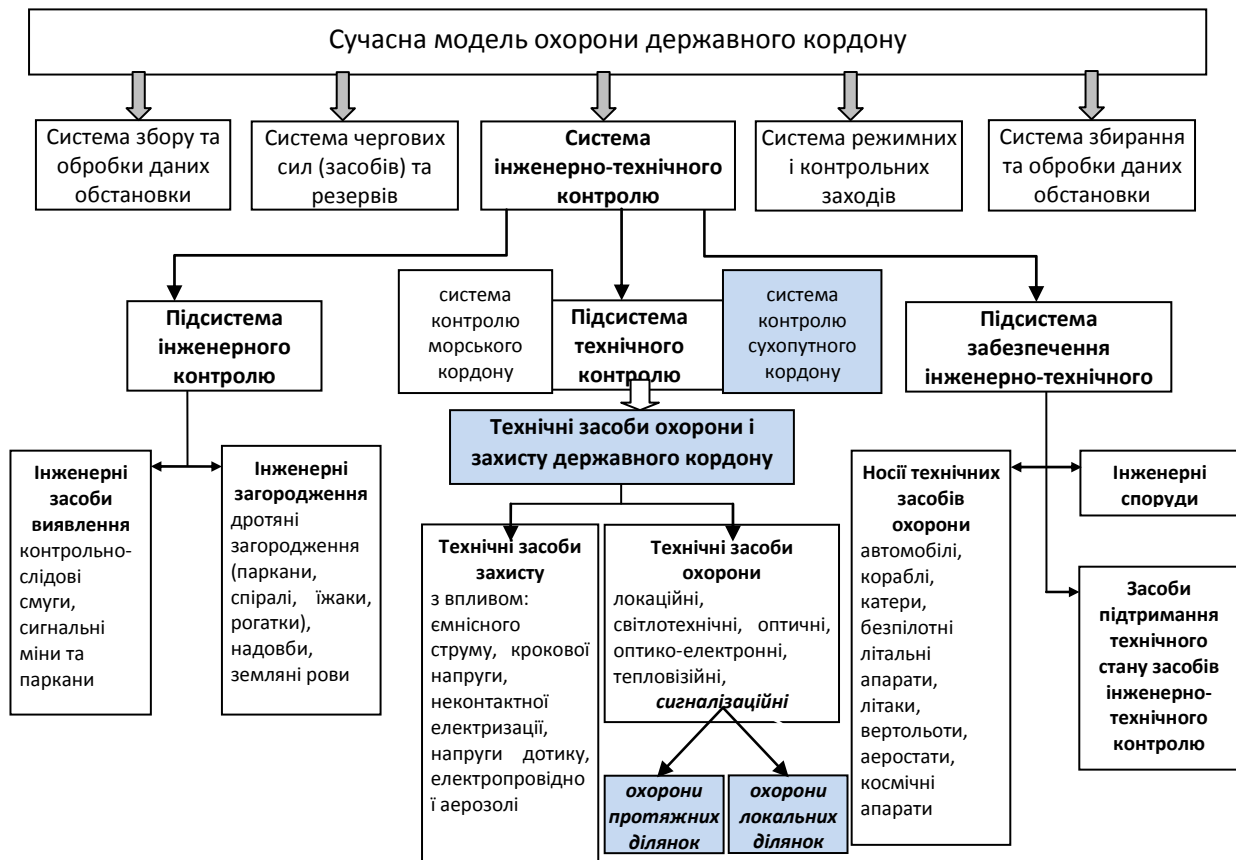


Рис. 1. Структура і склад підсистеми інженерно-технічного контролю сучасної інтегрованої моделі охорони державного кордону України

За принципами використання та побудови структурних схем найбільш близькими за своїми характеристиками до СОЕС ділянок кордону є периметрові засоби охорони кордону. З аналізу використання периметрових засобів охорони відомо, що кращих результатів охорони об'єктів досягають при комплексному використанні чутливих елементів, дія яких заснована на різних фізичних принципах. Виникає протиріччя, оскільки, не існує універсального засобу спостереження здатного виявляти всі класи об'єктів у всьому різноманітті умов навколишнього середовища, рис. 2.

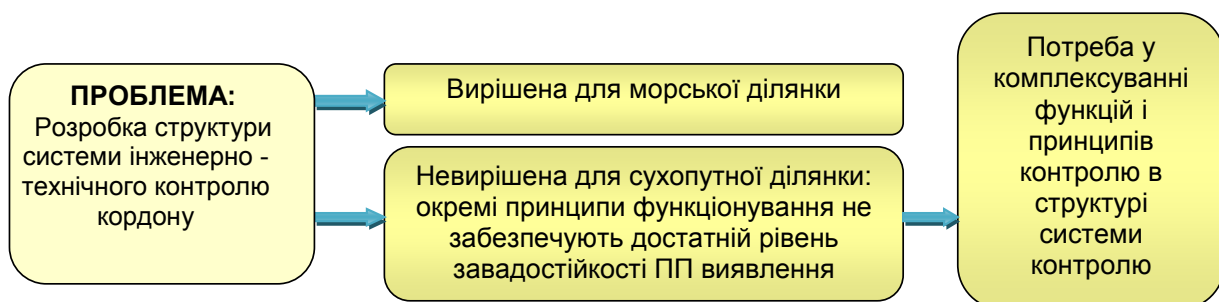


Рис. 2. Окреслення перспективного напрямку здійснення технічного контролю кордону

Тому, забезпечення цієї вимоги є складною проблемою, вирішення якої пов'язано з комплексним використанням різних ТЗО і технічних засобів захисту (ТЗЗ), в яких поєднуються різні фізичні принципи виявлення ПП. Тому, необхідність досягнення покращення показників, що визначають тактичну ефективність СІТК, є очевидною і актуальною.

Першим кроком у напрямку вирішення зазначеної проблеми є пошук перспективних шляхів підвищення ефективності СІТК завдяки удосконаленню класифікації технічних засобів контролю (ТЗК) ДК за всіма інформаційними ознаками.

Безумовно, що зменшення ролі людини у процесі функціонування системи охорони сприятиме

підвищенню ефективності охорони та захисту кордону, саме тому Концепцією розвитку Державної прикордонної служби України на період до 2020 р передбачається розробка автоматизованих систем охорони кордону. На ринку засобів охорони налічується сотні зразків ТЗО та це не факт, що хоча б один з них забезпечить адекватний сучасним загрозам національній безпеці держави контроль сухопутного кордону. Саме тому, актуальним постає завдання обґрунтування структури універсальних перспективних ТЗО сухопутної ділянки кордону, обґрунтування вимог до них.

Оскільки, за інформаційною ознакою ТЗК ДК можна класифікувати на: засоби, що виявляють тільки факт знаходження ПП в чутливій зоні; засоби, що забезпечують визначення місцеположення ПП; засоби, що забезпечують візуальне спостереження за ПП; засоби, які ускладнюють пересування ПП, тобто технічні засоби охорони і захисту (ТЗОЗ) ДК – це перспективний комплекс сигналізаційно-захисний, що включає перераховані засоби.

Загалом підсистема технічного контролю реалізується з допомогою: дистанційного контролю за рубежами (ділянками, об'єктами) засобами сигналізації; радіолокаційного, телевізійного спостереження в темний час доби і в денний за умов обмеженої видимості; створення мережі пунктів (позицій, тимчасових позицій) візуального та радіотехнічного спостереження, які загалом можуть входити до складу підсистеми технічного контролю.

Розглянуті вимоги до змісту та опис складових перспективної моделі СІТК забезпечили розробку структури підсистеми технічного контролю, що являє собою комплекс ТЗО і ТЗЗ для забезпечення своєчасного виявлення, ускладнення пересування, спостереження, визначення і прогнозування місцеположення ПП, що дозволяє реалізувати ефективні умови його затримання. Розглянуті вимоги до змісту та опис складових перспективної моделі підсистеми технічного контролю окреслили необхідність створення нового комплексу сигналізаційно-захисного.

Під комплексом будемо розуміти сукупність інформаційно-зв'язаних засобів (засоби радіолокації, георадари, оптико-електронні засоби, засоби відеоспостереження, тепловізійні засоби, засоби передачі даних, засоби нелетального впливу, світлотехнічні засоби, системи електроживлення, безпілотні літальні апарати і т.д.). Зокрема, перевагою комплексних систем охорони кордону є підвищена завадостійкість до впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів, зважаючи на використання методів виявлення проникнення ПП на об'єкт, що охороняється та те, що вони засновані на різних фізичних принципах. Виходячи з вищесказаного, основний акцент при розробці комплексних засобів охорони кордону повинен робитися на інтегруванні, об'єднанні загальним управлінням систем і засобів охоронної сигналізації, санкціонованого доступу, відеоспостереження, захисту кордону та ін., що технічно, інформаційно, програмно і експлуатаційно сумісні. Основу охорони і захисту кордону на сухопутній ділянці має складати комплекс сигналізаційно-захисний.

Отже, беручи до уваги все вищесказане, дамо визначення поняттю «комплекс сигналізаційно-захисний» – це розподілений, динамічний, стохастичний, складний технічний інформаційний засіб, предметно галуззю якого є охорона і захист територіально-розподілених об'єктів і рубежів за допомогою радіоелектронних сигналів, якому властиві високий рівень автоматизації, ієрархічність, адаптація до зовнішнього середовища, сучасні технології обчислювальної техніки.

Тому, під функціонуванням комплексу сигналізаційно-захисного слід розуміти автоматизовану взаємодію персоналу з територіально-розподіленими технічними засобами, при якій виконуються функції виявлення, розпізнавання, ускладнення пересування, наведення груп оперативного реагування для затримання ПП.

Висновки. Забезпечення ефективної охорони ДК України можливо при умові широкого використання ТЗО та ТЗЗ, які становлять основу сучасної моделі системи охорони кордону, тому, в роботі здійснено дослідження структури діючої системи інженерно-технічного контролю, встановлено напрямок перспективного її розвитку, суть якого – це комплексування ТЗО і ТЗЗ.

Проведений аналіз дослідження дозволяє зробити висновки, що одним із перспективних шляхів підвищення ефективності СІТК являється комплексування різних ТЗО і ТЗЗ, як елементів складової СІТК. Напрямок обґрунтування комплексного контролю для сухопутного кордону полягає в розробці комплексу сигналізаційно-захисного як універсального засобу охорони і захисту, що забезпечує: розрізнення загроз за пріоритетом; достатній рівень завадостійкості виявлення ПП на розподіленій ділянці в множині дій різних факторів і ускладнення пересування рухомих об'єктів.

Подальшим напрямком дослідження є розробка концепції формування структури СІТК сухопутного кордону України.

Література

1. Про схвалення Концепції Державної цільової правоохоронної програми “Облаштування та реконструкція державного кордону” на період до 2020 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 11 листопада 2015 р. № 1179-р.
2. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 6 травня 2015 року «Про стратегію

національної безпеки України» : указ Президента України 6 травня 2015 р. № 287/2015.

3. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 4 березня 2016 року «Про концепцію розвитку сектору безпеки і оборони України» : указ Президента України 14 березня 2016 р. № 92/2016.

4. Про схвалення «Стратегії розвитку Державної прикордонної служби» : розпорядження Кабінету Міністрів України від 23 листопада 2015р. № 1189-р.

5. Про організацію інженерного облаштування державного кордону України у 2016 році : наказ Адміністрації Державної прикордонної служби України від 15 лютого 2015 р. № 68.

6. Огляд стану прикордонної служби за 2014 рік / Адміністрація Державної прикордонної служби України.

7. Про оголошення та введення в дію рішення Колегії Адміністрації Державної прикордонної служби України від 21 січня 2015 року № 1 : наказ Адміністрації Державної прикордонної служби України від 25 січня 2015 року № 10.

8. Про оголошення та введення в дію рішення Колегії Адміністрації Державної прикордонної служби України від 9 липня 2015 року № 12 : наказ Адміністрації Державної прикордонної служби України від 16 січня 2015 року № 128.

9. Про оголошення та введення в дію рішення Колегії Адміністрації Державної прикордонної служби України від 8 жовтня 2015 року № 14 : наказ Адміністрації Державної прикордонної служби України від 12 жовтня 2015 року № 174.

10. Про оголошення та введення в дію рішення Колегії Адміністрації Державної прикордонної служби України від 27 січня 2016 року № 1 : наказ Адміністрації Державної прикордонної служби України від 2 лютого 2016 року № 16.

11. Артюшин Л. М. Технічний контроль та інформаційне забезпечення процесів охорони державного кордону України : монографія / Л. М. Артюшин, В. А. Кириленко, М. І. Лисий. – Хмельницький : Вид-во НАДПС України, 2011. – 184 с.

Рецензія/Peer review : 2.12.2016 р.

Надрукована/Printed : 14.12.2016 р.
Рецензент: д.т.н., доцент Лисий М. І.

АНАЛІЗ ЧУТЛИВОСТІ СИСТЕМ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ АДАПТАЦІЇ І РЕГУЛЮВАННЯ ЗОВНІШНЬОГО ТРАФІКА

Розглянуті способи і методи визначення чутливості вихідних характеристик телекомунікаційних мереж як систем масового обслуговування, в основу яких покладені моделі управління чергою для адаптації регульованого доступу зовнішнього трафіка в систему для отримання очікуваної межі продуктивності. Досліджена задача управління чергою на основі системи непрямого управління накопиченням і повернення помилки в систему управління. Запропоновано спосіб визначення коефіцієнту чутливості на основі пертурбацій в позитивному і негативному напрямках.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, коефіцієнт чутливості, система масового обслуговування, трафік, пертурбація, управління чергою

YA. I. TOROSHANKO

State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine

SENSITIVITY ANALYSIS OF SYSTEMS OF MASS SERVICE ON THE BASE OF MODEL OF ADAPTATION AND REGULATION OF FOREIGN TRAFFIC

The purpose of the article is the methods of analysis of parameter sensitiveness of telecommunication network as a complex queuing system. In basis of the offered methods the control queuing system modelling is used. The model are fixed for adaptation of the managed access of external traffic in the system for the receipt of the expected limit of the productivity. The task of management a turn is investigational on the basis of the system of non direct management and returning of error in the system of management an accumulation. The method of determination the coefficient of sensitiveness is offered on the basis of perturbations in positive and negative directions. Possibility of the using the sensitiveness parameter with different optimization algorithms is shown, which consists in successive selection of entry parameters to achievement of set value of initial parameters of the system. The methods of queuing control using sensitiveness parameter gives the wide possibilities for optimization of the telecommunication systems as complex systems. The sensitiveness parameter of s can be used for the receipt of statistical distributing descriptions of the networks system parameters.

Keywords: telecommunication network, sensitiveness coefficient, queuing system, traffic, perturbation, queuing control.

Вступ. Постановка задачі. Під час розв'язання задач контролю функціонування телекомунікаційної мережі і прогнозування її стану важливе значення мають способи визначення і оптимізації ключових показників ефективності функціонування мережі, як складної системи. Ці показники та критерії їх оцінювання є вкрай неоднозначними і суперечливими, що можна об'яснити динамічними змінами поточного стану мережі, її завантаженістю та іншими зовнішніми впливами [1, 2].

Вирішенню задач прогнозування параметрів та стану мережі присвячено багато теоретичних робіт та практичних досліджень [3–5], однак більшість із запропонованих рішень пов'язані з ростом обчислювальної складності при вирішенні цих задач. В роботах [6, 7] запропонований метод, в основі якого лежить екстраполяція за квадратичним поліномом. Практичне використання цього методу ускладнюється, воно потребує великої кількості вимірювань на надто коротких інтервалах часу.

У роботах [8, 9] досліджені питання функціонування мережі в умовах застосування ненадійних вузлів і елементів, тобто резервування за логікою “ m з n ”, а також гарячого резервування кожного комутаційного вузла і постійного порівняння станів реального об'єкту з еталоном (активна реплікація). Такий підхід вимагає суттєвого ускладнення і дорожчання системи в цілому.

Підсумовуючи можна констатувати, що завжди існує апріорна невизначеність стану телекомунікаційної мережі, що потребує розробки додаткових показників і критеріїв оцінювання мереж, як складних систем.

Важливу роль у визначенні і оптимізації ключових показників ефективності телекомунікаційних мереж відіграють показники чутливості складних систем, які забезпечують оцінювання і додаткове розуміння поведінки системи. В роботах [10–12] визначена категорія чутливості складних систем як математичного показника, показана доцільність використання математичного апарату аналізу чутливості складних систем в задачах управління перевантаженнями в комп'ютерних телекомунікаційних мережах. Обґрунтована доцільність системних досліджень чутливості складних систем шляхом адаптивного передбачуваного управління мережею. Показано, що кількісні оцінки чутливості визначають реакцію градієнта в задачах оптимізації складних систем. Категорія чутливості визначає, як зміни одного або більшої кількості параметрів мережі чи трафіка впливають на продуктивність системи і якість послуг, що надаються користувачеві.

Визначенням чутливості може бути наступне: «Будь-яка зміна системної функції або іншої системної характеристики, викликана зміною в одному або більше системних параметрах, називається чутливістю системи» [12].

Метою статті є розробка методів аналізу чутливості параметрів мережі як складної системи масового обслуговування. В основу запропонованих методів покладені моделі управління чергою для адаптації регульованого доступу зовнішнього трафіка в систему для отримання очікуваної межі продуктивності.

Чутливість параметрів мереж як систем масового обслуговування. Причинами поява черг в

телекомунікаційних мережах і, як наслідок, перевантажень, являються сплески вхідного трафіка, несправності устаткування, низький рівень якості обслуговування тощо. Тому основною проблемою управління систем масового обслуговування є аналіз її основних процесів і потоків з метою виявлення параметрів, які погіршують ефективність функціонування мережі.

На практиці теорія систем масового обслуговування і черг має найбільшу корисність при вирішенні таких завдань, як виявлення невідповідностей характеристик обладнання заданим вимогам, визначення шляхів покращання функціонування системи, виявлення деструктивних впливів на функціонування мережі та визначення наближених значень регулюючих параметрів системи, які імовірно повинні підвищити рівень її функціонування. Одним із таких параметрів, що надає кількісну оцінку негативних впливів на якість функціонування мережі є чутливість [1, 5, 10, 12].

Розглянемо параметр чутливості, його визначення та особливості використання в ТКМ як системах масового обслуговування. Функція зміни стану системи організації черги в координаті часу t може бути записана як $S(t, x)$, де x – параметр, який впливає на поведінку системи організації черги.

Якщо функцію зміни стану $S(t, x)$ розглядати як продуктивність мережі, то позначення $Y(x, \omega)$ будемо використовувати для представлення продуктивності на конкретній вибірці ω , коли мережа знаходиться під спостереженням. В загальному, для будь-якого заданого значення x функція $S(t, x)$, – стохастичний процес, $Y(x, \omega)$ – довільна змінна.

Для того, щоб підкреслити те, що продуктивність є залежною від вибірки ω , використовуємо функцію $Y(x, \omega)$, яку назвемо продуктивністю на вибірці або просто функцією вибірки.

Як приклад, можна розглянути організацію черги на одному сервері системи. Нехай x – швидкість роботи і $Y(x, \omega)$ – функція використання сервера на даній вибірці. В цьому випадку, величина ω характеризує часовий інтервал між двома запитами на обробку і час обробки даної вибірки.

Для практичних цілей функція $Y(x, \omega)$ використовується для оцінки продуктивності системи, але це відноситься лише до однієї вибірки; тоді як цілком можливо, що продуктивність, отримана в процесі спостереження на іншій вибірці, буде радикально відрізнятися. Таким чином, середня продуктивність, тобто очікувана серед всіх можливих, може бути представлена як

$$J(x) = E[Y(x, \omega)] \quad (1)$$

Функція продуктивності $Y(x, \omega)$ на одній вибірці може бути використана при оцінюванні середньої (дійсної) продуктивності $J(x)$. Якщо є n окремих значень продуктивності на вибірках $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$, які були під спостереженням, тоді приблизне (усереднене) значення $J(x)$ буде представлено як

$$\hat{J}(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y(x, \omega_i). \quad (2)$$

Якщо спостережувані вибірки є незалежними і, як наслідок, отримані значення продуктивності представляють собою незалежну ідентифікаційну послідовність $\{Y(x, \omega_1), Y(x, \omega_2), \dots, Y(x, \omega_n)\}$, тоді згідно з законом закону великих чисел з урахуванням (1) і (2) має місце наступний вираз для оцінки продуктивності:

$$J(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y(x, \omega_i) \right]. \quad (3)$$

У більшості практичних застосувань, використовується тільки одна вибірка спостереження ω , по якій оцінюється величина продуктивності $J(x)$, а саме:

$$\hat{J}(x) = Y(x, \omega). \quad (4)$$

Типова проблема, яку необхідно вирішувати при розробці, управлінні і експлуатації систем масового обслуговування – це визначення значення функції продуктивності від деякого параметра x .

При вимірюванні і оцінюванні величини продуктивності $J(x)$ від деякого заданого параметра x , викликає інтерес ступінь чутливості параметру J відносно x , тобто, похідна $\frac{\partial J}{\partial x}$ при значенні $x = x_0$. Така похідна відома як чутливість J щодо параметра x в точці $x = x_0$. Це надає принаймні якусь локальну інформацію щодо впливу x на продуктивність системи. Наприклад, знання знаку цієї похідної в даній точці відразу ж дає відповідь, в якому напрямі необхідно змінювати параметр x . Також, якщо величина похідної $\frac{\partial J}{\partial x}$ невелика, можна зробити висновок, що функція J слабо чутлива до змін в x . Таким чином, варто приділити увагу іншому параметру (якщо це можливо) для поліпшення продуктивності, не намагаючись отримати хоча б мінімальні поліпшення за рахунок налаштування x .

Є багато галузей знань, де інформація про чутливість використовується з метою аналізу і управління. Коротке обговорення деяких з цих областей приведене нижче.

1. Як було зазначено вище, по знаку похідної $\frac{\partial J}{\partial x}$ в деякій точці $x = x_0$ можна визначити напрямок коригування параметру x . При малих значеннях цієї похідної робиться висновок про незначний вплив параметра x на продуктивність мережі, а значить слід зосередитись на інших параметрах для покращання якості функціонування мережі. Фактично у разі багатьох параметрів $x_1, x_2, \dots, x_m$ комплексний параметр чутливості $\frac{\partial J}{\partial x_1}, \frac{\partial J}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial J}{\partial x_m}$ може бути використаний щоб визначати найбільш і найменш критичні параметри і дати орієнтир для розробника або диспетчера відносно вибору шляхів для поліпшення якості функціонування системи.

2. Часто буває, що аналіз чутливості дає не просто числову величину похідної для тієї чи іншої вибірки, але і дає інформацію про походження і причини залежності продуктивності від параметра x . Найпростіший такий випадок виникає, коли похідна $\frac{\partial J}{\partial x}$ може бути завжди позитивною (або завжди негативною) для будь-якої вибірки. Загалом, форма $\frac{\partial J}{\partial x}$ може показати цікаві структурні властивості системи, напр., монотонність, опуклість.

3. Параметр чутливості може використовуватись сумісно з різними алгоритмами оптимізації, робота яких полягає в послідовному підборі (підгонці) параметру x до тих пір, поки не буде досягнута точка, де величина $J(x)$ має найкраще значення. На практиці, ставиться задача виявлення такого значення x , при якому результуюча продуктивність $J(x)$ буде задовільна. Якщо жодні інші обмеження на x не накладаються, передбачається, що в цій точці $\frac{\partial J}{\partial x} = 0$. Типовим алгоритмом є правило спадаючого градієнта, яке описується в дискретному часі наступним чином: $x(n+1) = x(n) - \eta(n) \left(\frac{\partial J}{\partial x} \right)_{x=x(n)}$, $n = 1, 2, \dots$

де параметр x послідовно скоригований від початкової величини x_0 до тих пір, поки $\frac{\partial J}{\partial x} = 0$ для деякого n . Величина коригування пропорційна величині похідної, отриманої в точці $x = (n)$ з правильно вибраними коефіцієнтами $\eta(n)$, $n = 1, 2, \dots$ (цими коефіцієнтами можуть бути *розміри кроку, коефіцієнт навчання, коефіцієнти масштабування* тощо).

4. Для аналізу і управління системою можуть бути використані не тільки похідні першого порядку, але і похідні більш високих порядків $\frac{\partial J^{(2)}}{\partial x^2}, \frac{\partial J^{(3)}}{\partial x^3}, \dots$, що надає більш широкі можливості оптимізації складних систем. Зауважимо також, що чутливість може також використана для отримання статистичних характеристик розподілу системних параметрів.

Аналіз моделі управління чергою

Контроль черги в системі масового обслуговування телекомунікаційної мережі здійснюється з метою регулювання доступу зовнішнього трафіка в систему для забезпечення очікуваної продуктивності. Відсутність управління вхідним трафіком може привести до значних порушень даного обмеження продуктивності, в тому числі до перевантажень, які можуть заблокувати передачу даних в мережі в цілому або на окремих її фрагментах.

Нехай функція $I(t)$ визначає інтенсивність зовнішнього трафіка, який надходить в мережу; величина $R(t)$ – розрахункова очікувана межа продуктивності; $Y(t)$ – продуктивність, яку показує мережа в даний момент часу t . Параметри $R(t)$ і $Y(t)$ можуть бути визначені, як затримка черги, довжина черги, або будь-який інший вимір продуктивності, який задається розробником системи контролю.

Задача системи контролю – забезпечити адаптивне управління, яке максимізує вхідний трафік в заданих рамках. Схема управління і задача контролю вхідного трафіка представлена на рис. 1. Система контролю розміщується на вході в систему черги.

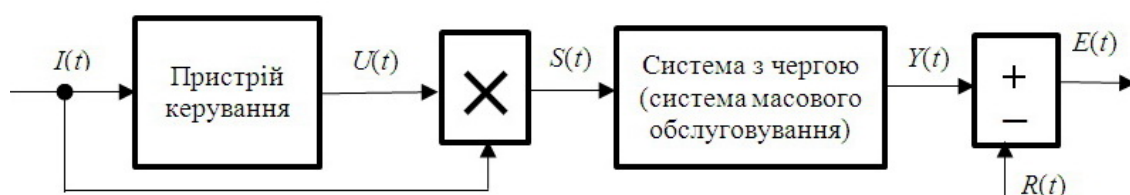


Рис. 1. Схема управління і контролю вхідного трафіка

Величина $S(t)$ характеризує реальний рівень трафіка, який надходить в мережу. При цьому рівень вхідного трафіка заданий в межах $0 \leq S(t) \leq I(t)$. Функція $U(t)$ характеризує механізм управління накопиченням змінної управління і визначає порцію вхідного трафіка $I(t)$, яка буде надіслана в мережу, тобто:

$$S(t) = U(t)I(t). \quad (5)$$

Формалізовано задача системи контролю в рамках вищевказаних обмежень може бути представлена наступним чином:

$$\max_{U(t)}; \quad Y(t) \leq R(t) \quad 0 \leq U(t) \leq 1.$$

Для опису адаптивної схеми управління накопиченням у просторі станів використаємо так званий непрямий метод управління. Цей метод управління накопиченням включає дві моделі одна – формуюча еталонна модель динаміки системи черг, друга – система управління в просторі станів [4, 10]. Розглянемо альтернативний підхід, при якому спрощується формулювання управління сигналами.

Пристрій управління на рис. 1 призначений для рішення задачі управління $S(t)$ λ при взаємодії із системою масового обслуговування (системою черг) в реальному часі. Функція управління залежить від попередніх значень параметрів продуктивності вхідного трафіка, тому з урахуванням (3) і спрощення (4) функція управління набуває форми:

$$S(t) = G[I(t), S(t-1), \dots, S(t-m), Y(t), Y(t-1), \dots, Y(t-l)], \quad (6)$$

де для функцій $S(t-i)$ і $Y(t-l)$ $i = 1, 2, \dots, m$ та $j = 0, 1, 2, \dots, l$ – часові послідовності контролюваного трафіка і значень продуктивності, відповідно. Простір функції G , залежить від складності даної мережі і від необхідної точності управління.

Підстановкою (6) в (5) отримуємо:

$$U(t) = \frac{S(t)}{I(t)} = H[I(t), S(t-1), S(t-2), \dots, S(t-m), Y(t), Y(t-1), \dots, Y(t-l)] \quad (7)$$

У виразі (7) функція H описує динаміку системи черг, яка є невідомою.

Модель використовується для вивчення залежності між керованою змінною $U(t)$ і динамікою системи. Формуючий фільтр для системи управління має $m+l+2$ входів, на які поступають значення відповідних сигналів, і один вихід, і може бути позначений як

$$U(t) = H[I(t), S(t-1), S(t-2), \dots, S(t-m), Y(t), Y(t-1), \dots, Y(t-l), W]$$

де W представляє змінювану величину формуючого фільтру.

Як видно з рис. 1, помилка

$$E_c(t) = R(t) - Y(t) \quad (8)$$

не проходить через систему черги, тому немає прямого алгоритму навчання, доступного для проводки цієї помилки назад в систему управління. Тобто алгоритм компенсації помилки не може бути використаний в системі управління безпосередньо зі стану системи.

Для вирішення цієї задачі можна запропонувати декілька методів. Один з них заснований на архітектурі прямого управління системою черг. Для порівняльного аналізу ми дамо спочатку огляд методу збурення, в основу якого покладена архітектура непрямого управління накопиченням і повернення помилки в систему управління.

Метод повернення визначеної в (8) помилки $E_c(t)$ в систему управління безпосередньо не може бути використаний через те, що для конкретного запиту відома тільки помилка між доступним виходом системи Y і бажаним виходом R . Отже, помилка $R(t) - Y(t)$ має бути зменшена до входу в систему черги. Зазвичай правило компенсації помилки визначається як

$$\Delta W = -\eta \frac{\partial E}{\partial W}.$$

Тоді формула для формуючого фільтра із врахуванням виходу системи управління $U(t)$ в просторі станів наступним чином:

$$\Delta W = -\eta \frac{\partial E}{\partial S(t)} \frac{\partial S(t)}{\partial U(t)} \frac{\partial U(t)}{\partial W} = -\eta \frac{\partial E}{\partial S(t)} I(t) \frac{\partial U(t)}{\partial W}.$$

Якщо система управління чергою лінійна і описується як

$$Y = Y(S), \quad (9)$$

то помилка виходу $E(t)$ може бути визначена як

$$E(t) = \frac{1}{2} [R(t) - E(t)]^2.$$

Тоді сигнал помилки $E(t)$ переноситься на вхід системи, а величина $\frac{\partial E(t)}{\partial S(t)}$ може бути підрахована таким чином:

$$-\frac{\partial E(t)}{\partial S(t)} = [R(t) - Y(t)] \frac{\partial Y(t)}{\partial S(t)}. \quad (10)$$

Як видно із (10), помилка виходу системи $R(t) - Y(t)$, яка переноситься на вхід в систему, відповідає градієнту функції (або коефіцієнту чутливості) $\frac{\partial Y}{\partial S}$. Це описує продуктивність лінеаризованої системи (9) в робочій точці системи.

Якщо рівняння системи $Y = Y(S)$ відоме, то величина $\frac{\partial Y}{\partial S}$ в робочій точці системи може бути легко представлене в аналітичній формі. Якщо ж рівняння системи невідоме, $\frac{\partial Y}{\partial S}$ може бути визначене варіюванням вхідної дії на ΔS в робочій точці системи і подальшого підрахунку зміни результатів. Результируючі збурення вихідного сигналу в кожному напрямі для кожного вхідного збурення вимірюються і усереднюються.

Коефіцієнт чутливості потім береться за середнє $\frac{\partial Y}{\partial S}$, де середні значення беруться з пертурбацій в позитивному і негативному напрямках. Цей підхід називається методом пертурбації і дозволяє вимірювати і симулювати приблизні значення градієнта $\frac{\partial Y}{\partial S}$. Метод пертурбації вимагає приблизні значення тільки для $\frac{\partial Y}{\partial S}$, оскільки це відношення включає скінченні різниці ΔY і ΔS замість нескінченних диференціалів. Зауважимо, що результати таких вимірювань дійсні тільки для певного місця в проблемному просторі, представленому значеннями входу і виходу до їх пертурбації.

Висновки. Розглянуті способи і методи визначення чутливості вихідних характеристик телекомунікаційних мереж як систем масового обслуговування, в основу яких покладені моделі управління чергою для адаптації регульованого доступу зовнішнього трафіка в систему для отримання очікуваної межі продуктивності.

Показані можливості та особливості використання показника чутливості для аналізу і оптимізації складних систем різного призначення.

Досліджена задача управління чергою на основі системи непрямого управління накопиченням і повернення помилки в систему управління. Запропоновано спосіб та розроблені аналітичні вирази для визначення коефіцієнту чутливості на основі пертурбацій в позитивному і негативному напрямках змін вихідної функції досліджуваної системи.

Література

1. Reliability, Survivability and Quality of Large Scale Telecommunication Systems: Case Study: Olympic Games / Peter Stavroulakis (Editor) 2003 John Wiley & Sons, Ltd. – 370 p.
2. Parmenter D. Key Performance Indicators (KPI): Developing, Implementing, and Using Winning KPIs / D. Parmenter. – 2-d edition. – John Wiley & Sons, 2010. – 320 p.
3. Уилсон Э. Мониторинг и анализ сетей. Методы выявления неисправностей / Э. Уилсон. – Москва : Лори, 2002. – 363 с.
4. Shooman M. L. Reliability of Computer Systems and Networks: Fault Tolerance, Analysis, and Design / M. L. Shooman. – John Wiley & Sons, Inc, 2002. – 548 p.
5. Tie Liu. Reliable telecommunication network design problem under node failure / Tie Liu, Wenguo Yang, Ruguo Bu, Jun Huang // 11th International Symposium on Operations Research and its Applications in Engineering, Technology and Management 2013 (ISORA 2013), IET Huangshan, China. – August 23–25, 2013. – P. 1–8.
6. Weiss G. M. Predicting Telecommunication Equipment Failures from Sequences of Network Alarms / G. M. Weiss // Handbook of data mining and knowledge discovery. – Oxford University Press, Inc. New York, NY, USA, 2002. – P. 891–896.
7. Salfner F. A Survey of Online Failure Prediction Methods // Felix Salfner, Maren Lenk, Mirosław Malek. – ACM Computing Surveys / F. Salfner. – March 2010. – Vol. 42, No. 3, Article 10. – 42 p.
8. Handbook of Optimization in Telecommunications / Editors: M.G.C. Resende, P.M. Pardalos. – Springer Science & Business Media, 2006. – 1133 p.
9. Mızrak A. T. Detecting Malicious Routers // Ph. D. Dissertation, University of California, San Diego, CA, 2007. – 155 pp.
10. Aweya J. Neural Sensitivity Methods for the Optimization of Queueing Systems / J. Aweya, Q.J. Zhang, D. Y. Montuno // World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SC1998), July 12–16, 1998, Orlando, Florida. – PP. 638–645.
11. Shooman M.L. Reliability of Computer Systems and Networks – Fault Tolerance, Analysis and Design / M.L. Shooman. – John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002. – 546 p.
12. Торошанко Я.І. Управління надійністю телекомунікаційної мережі на основі аналізу чутливості складних систем / Я. І. Торошанко // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2016. – № 3. – С. 31–36.

RS-ТРИГГЕР НА МОНОИММИТАНСНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ R-ЭЛЕМЕНТАХ «ИЛИ-НЕ»

Приведено обоснование схемы RS-триггера на моноиммитансных логических R-элементах «ИЛИ-НЕ» и разработана его математическая модель. Исследовано влияние на характеристики RS-триггера дестабилизирующих факторов: нестабильность волнового сопротивления отрезка линии передачи, добротности входных активных импедансов и нестабильность опорной частоты генератора.

Ключевые слова: триггер, логический элемент, иммитанс, дестабилизирующие факторы.

M.A. FILYNKYUK, L.B. LISHCHYNSKA

Vinnitsia National Technical University

V.P. STAKHOV

Vinnitsia Institute of Trade and Economic of Kyiv National University of Trade and Economics

SR LATCH BASED ON THE LOGIC MONOIMMITTANCE R-ELEMENTS "NOR"

The paper describes foundation and mathematic model of the SR latch based on the monoimittance logical R-element "NOR". The effect on this RS-trigger characteristics of destabilizing factors: instability of the wave resistance of the transmission line segment, Q-factor and instability of generator's frequency is described. As a result of investigations are developed the application recommendations of SR latch based on the monoimittance logical R-element "NOR" for maximum interference immunity. To ensure high interference immunity of the circuit must be committed to a reduction of the reactance in the input active impedance. For correct operation of the circuit the quality factor in the input impedances shall not exceed 0.2, which corresponds to a relative error of the output active impedance in 4%.

Keywords: trigger, logic element, imittance, destabilizing factors.

Вступление

Триггер является одним из важнейших элементов вычислительной техники. Наиболее распространенным его видом является видеоимпульсный триггер, переключение состояний в котором достигается изменением уровня входного напряжения [1]. Существуют также триггеры, использующие другие физические явления в качестве информационного параметра, такие как оптические [2], пневматические [3], гидравлические [4], магнитные [5]. Такие триггеры служат для работы в специфических вычислительных машинах, в частности в тех случаях, где перевод какого-либо информационного параметра в видео-импульсные уровни напряжения не целесообразен.

Одним из таких видов триггера является радиочастотный иммитансный триггер, который может быть построен на иммитансных логических элементах [6]. Такой триггер использует в качестве информационного параметра иммитанс и способен осуществлять логические операции на несущей частоте сигнала [7]. Также преимуществами иммитансного триггера являются высокое быстродействие и малая потребляемая мощность. На сегодняшний день существует необходимая база логических моноиммитансных элементов [6], достаточная для того, чтобы на их основе построить иммитансный RS-триггер. Однако характеристики такого триггера до сих пор не исследованы, а также не проведена оценка их помехоустойчивости, что обуславливает актуальность данной работы.

Целью работы является разработка RS-триггера на моноиммитансных логических R-элементах «ИЛИ-НЕ». Для достижения этой цели решаются следующие задачи:

1. Обоснование схемы RS-триггера на моноиммитансных логических R-элементах «ИЛИ-НЕ» и разработка его математической модели.
2. Исследование влияния дестабилизирующих факторов на характеристики RS-триггера на моноиммитансных логических R-элементах «ИЛИ-НЕ» и оценка запаса его помехоустойчивости.

Обоснование схемы RS-триггера на моноиммитансных логических R-элементах «ИЛИ-НЕ» и разработка его математической модели

RS-триггер представляет собой логическую схему с двумя стабильными состояниями, которые могут сохраняться до тех пор, пока не изменятся соответственным образом входные информационные сигналы управления. При подаче логической единицы на вход S (от англ. Set) на выходе триггера Q будет появиться логическая единица, а на инверсном выходе триггера $\bar{Q}$ появится логический ноль. При подаче логической единицы на вход R (от англ. Reset) на выходе триггера Q будет появиться логический ноль, а на инверсном выходе триггера $\bar{Q}$ появится логическая единица. При подаче на оба входа R и S логического нуля на выходах триггера Q и $\bar{Q}$ сохраняется предыдущее состояние. Подача на оба входа R и S логической единицы является запрещенным состоянием триггера. На рис. 1а, б представлена условное графическое обозначение RS-триггера и его таблица истинности. Одним из возможных вариантов реализации RS-

триггера является схема построения на 2 логических элементах «ИЛИ-НЕ» (рис. 1в) [1].

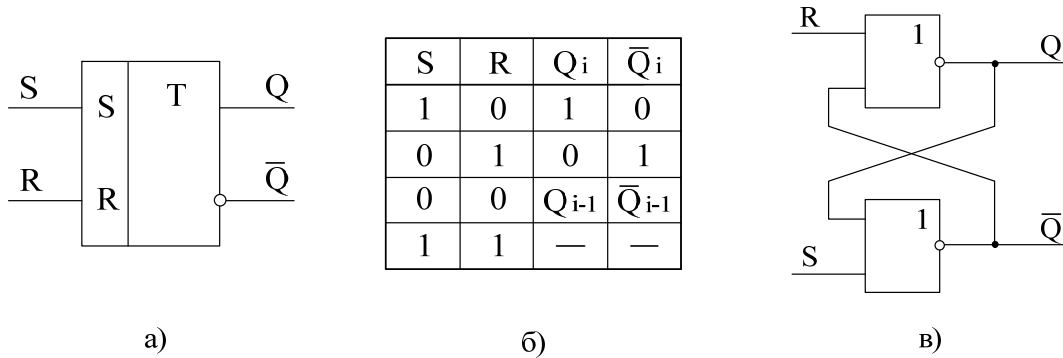


Рис. 1. Условное графическое обозначение (а), таблица истинности (б), структурная схема RS-триггера на 2 логических элементах ИЛИ-НЕ (в).

Одним из вариантов реализации моноиммитансных логических элементов является построение их на отрезках линии передачи, обладающих в СВЧ диапазоне свойствами обобщенных преобразователей иммитанса. Учитывая, что логический элемент «ИЛИ-НЕ» состоит из двух элементов – «ИЛИ» и «НЕ», используем моноиммитансные логические R-элементы «ИЛИ» и «НЕ» (рис. 2а), в результате получаем новый моноиммитансный логический R-элемент «ИЛИ-НЕ» (рис. 2б) [6].

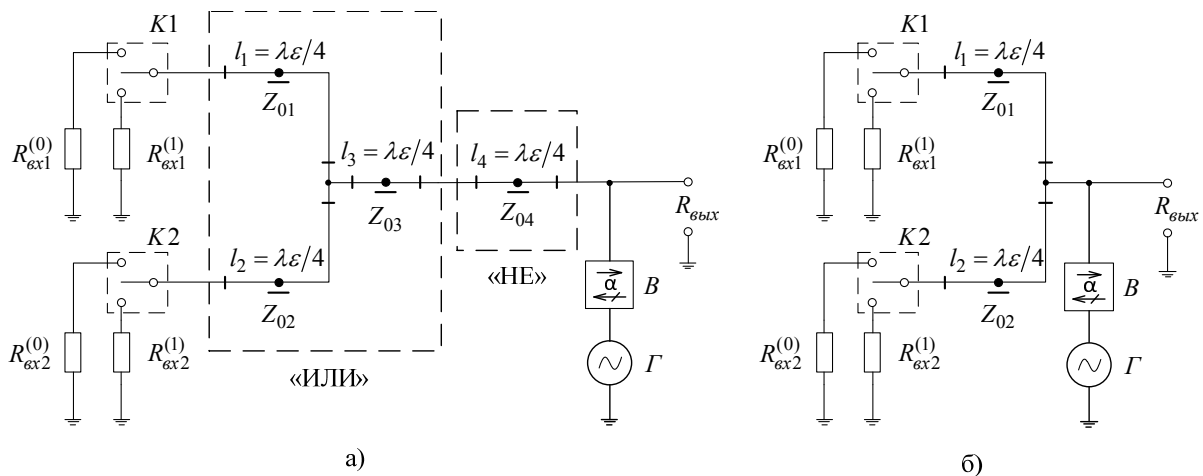


Рис. 2. Электрическая схема моноиммитансного логического R-элемента «ИЛИ-НЕ» (а) и ее оптимизированный вариант (б)

На схеме $l_1 - l_3$ – длина отрезков линии передачи; $Z_{01} - Z_{03}$ – волновые сопротивления отрезков линии передачи; $R_{ex1}^{(0)}$, $R_{ex1}^{(1)}$ и $R_{ex2}^{(0)}$, $R_{ex2}^{(1)}$ – входные иммитансы, обозначающие логический уровень «0» или «1» соответственно на первом или втором входе схемы; $K1$ и $K2$ – переключатели входных логических состояний; B – развязывающий вентиль, Γ – опорный СВЧ генератор.

Основой математической модели такого логического элемента является его передаточная характеристика $R_{вых} = F(R_{ex1}, R_{ex2})$. При ее описании учитываем трансформирующие свойства четвертьволновых отрезков линии передачи l_1 и l_2 , имеющих соответственно волновые сопротивления Z_{01} и Z_{02} :

$$R_{вых} = \frac{Z_{01}^2 / R_{ex1} \cdot Z_{02}^2 / R_{ex2}}{Z_{01}^2 / R_{ex1} + Z_{02}^2 / R_{ex2}}. \quad (1)$$

Считая, что входные каналы логического элемента идентичны, т.е. $Z_{01} = Z_{02}$, из (1) находим:

$$R_{вых} = \frac{Z_{01}^4 / R_{ex1} \cdot R_{ex2}}{Z_{01}^2 / R_{ex1} + Z_{01}^2 / R_{ex2}}. \quad (2)$$

Электрическая схема RS-триггера на 2 моноиммитансных логических R-элементах «ИЛИ-НЕ», согласно рис. 1в, будет иметь вид, представленный на рис. 3:

Согласно (2) и исходя из рис. 3, а также считая, что волновые сопротивления отрезков $l_1 - l_4$ линии передачи идентичны и равны Z_{01} , находим выходное активное сопротивление на выходе Q :

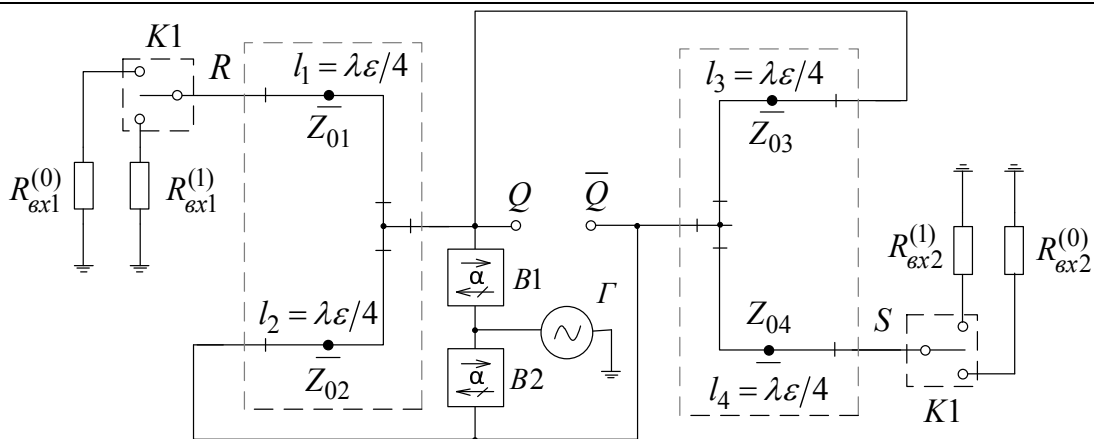


Рис. 3. Схема RS-триггера на 2 моноиммитансных логических R-элементах «ИЛИ-НЕ»

$$R_{\text{вых}Q} = \frac{Z_{01}^4 / R_{\text{ex}1} \cdot R_{\text{вых}\bar{Q}}}{Z_{01}^2 / R_{\text{ex}1} + Z_{01}^2 / R_{\text{вых}\bar{Q}}}, \quad (3)$$

где $R_{\text{вых}\bar{Q}}$ – выходное активное сопротивление на выходе $\bar{Q}$.

Аналогично, выходное активное сопротивление на выходе $\bar{Q}$ будет равно:

$$R_{\text{вых}\bar{Q}} = \frac{Z_{01}^4 / R_{\text{ex}2} \cdot R_{\text{вых}Q}}{Z_{01}^2 / R_{\text{ex}2} + Z_{01}^2 / R_{\text{вых}Q}}. \quad (4)$$

Уравнения (3) и (4) описывают передаточную характеристику моноиммитансного RS-триггера на основе моноиммитансных логических R-элементов ИЛИ-НЕ, изображенную на рис. 4. Оси R и S обозначают соответственно входные сопротивления $R_{\text{ex}1}$ и $R_{\text{ex}2}$, а Q – выходное сопротивление на выходе Q.

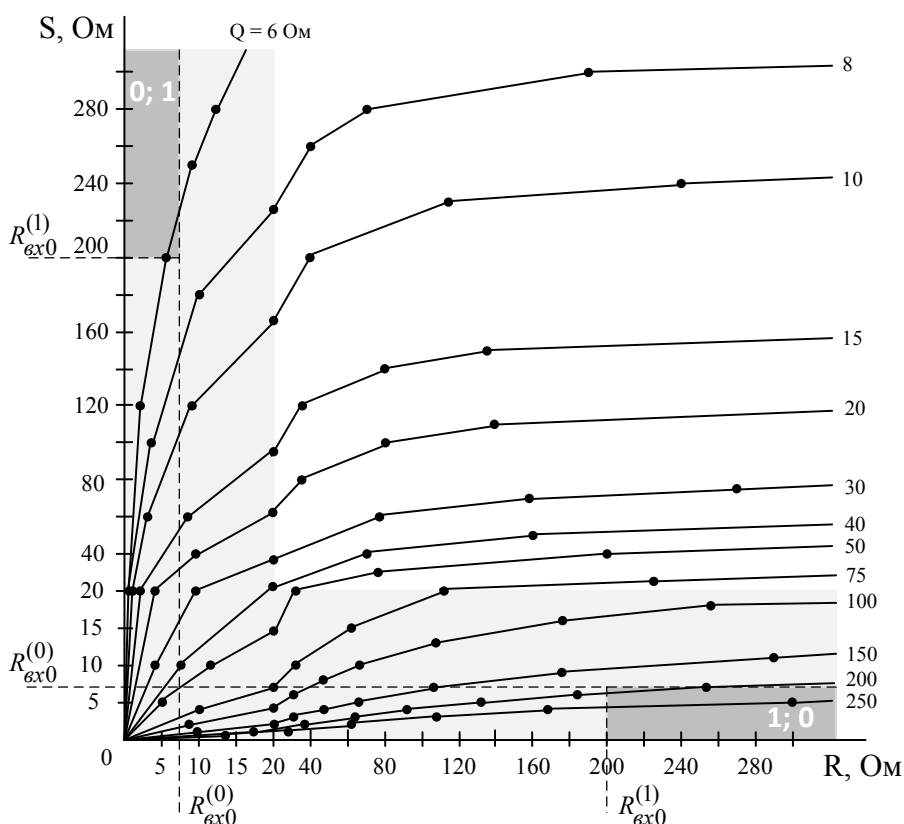


Рис. 4. Иммитансная передаточная характеристика RS-триггера по выходу Q на 2 моноиммитансных R-элементах «ИЛИ-НЕ»

Так как для RS-триггера на 2 моноиммитансных R-элементах «ИЛИ-НЕ» информационным параметром является активный импеданс «R», логические состояния триггера характеризуются диапазоном значений этого параметра. Логической единице "1" соответствует диапазон изменения $R_{\text{ex}}^{(1)} > R_{\text{ex}0}^{(1)}$, а

логическому нулю «0» соответствует диапазон изменения $R_{ex}^{(0)} < R_{ex0}^{(0)}$, где $R_{ex0}^{(1)}$ и $R_{ex0}^{(0)}$ - резистивная граница соответствующих логических уровней.

Исходя из рис. 4, работу RS-триггера на 2 моноиммитансных R-элементах «ИЛИ-НЕ» можно описать таблицей истинности, которая представлена на рис. 5.

R	S	Q_i	$\bar{Q}_i$
0 $R_{ex} < R_{ex0}^{(0)}$	0 $R_{ex} < R_{ex0}^{(0)}$	0 Q_{i-1}	0 $\bar{Q}_{i-1}$
1 $R_{ex} > R_{ex0}^{(1)}$	0 $R_{ex} < R_{ex0}^{(0)}$	1 $R_{ex} > R_{ex0}^{(1)}$	0 $R_{ex} < R_{ex0}^{(0)}$
0 $R_{ex} < R_{ex0}^{(0)}$	1 $R_{ex} > R_{ex0}^{(1)}$	0 $R_{ex} < R_{ex0}^{(0)}$	1 $R_{ex} > R_{ex0}^{(1)}$
1 $R_{ex} > R_{ex0}^{(1)}$	1 $R_{ex} > R_{ex0}^{(1)}$	—	—

Рис. 5. Таблица истинности RS-триггера на 2 моноиммитансных R-элементах «ИЛИ-НЕ»

На практике параметры реального RS-триггера на 2 моноиммитансных R-элементах «ИЛИ-НЕ» будут отличаться от параметров выше рассматриваемой «идеальной» схемы из-за влияния дестабилизирующих факторов.

В реальном RS-триггере на 2 моноиммитансных R-элементах «ИЛИ-НЕ» приведенный выходной импеданс используемых отрезков линии передачи равен [8]:

$$\bar{Z}_{вых} = \frac{\bar{Z}_{ex} + j \cdot \operatorname{tg} \beta}{1 + j \cdot \bar{Z}_{ex} \cdot \operatorname{tg} \beta} = \operatorname{Re} \bar{Z}_{вых} + j \cdot \operatorname{Im} \bar{Z}_{вых}, \quad (5)$$

где:

$$\operatorname{Re} \bar{Z}_{вых} = \bar{R}_{вых} = \frac{\bar{R}_{ex} \cdot (1 - \bar{X}_{ex} \cdot \operatorname{tg} \beta) + \bar{R}_{ex} \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot (\bar{X}_{ex} + \operatorname{tg} \beta)}{(1 - \bar{X}_{ex} \cdot \operatorname{tg} \beta)^2 + (\bar{R}_{ex} \cdot \operatorname{tg} \beta)^2}, \quad (6)$$

$$\operatorname{Im} \bar{Z}_{вых} = \bar{X}_{вых} = \frac{(1 - \bar{X}_{ex} \cdot \operatorname{tg} \beta) \cdot (\bar{X}_{ex} + \operatorname{tg} \beta) - \bar{R}_{ex}^2 \cdot \operatorname{tg} \beta}{(1 - \bar{X}_{ex} \cdot \operatorname{tg} \beta)^2 + (\bar{R}_{ex} \cdot \operatorname{tg} \beta)^2}, \quad (7)$$

$$\bar{R}_{вых} = \frac{R_{вых}}{Z_0}, \quad \bar{X}_{вых} = \frac{X_{вых}}{Z_0}, \quad \bar{R}_{ex} = \frac{\operatorname{Re} Z_{ex}}{Z_0}, \quad \bar{X}_{ex} = \frac{\operatorname{Im} Z_{ex}}{Z_0},$$

$\beta = 2\pi l / \lambda$ - фазовая постоянная;

С учетом (5-7) следует, что выходные активные составляющие импеданса реального RS-триггера на 2 моноиммитансных R-элементах «ИЛИ-НЕ» описываются выражениями:

$$R_{выхQ} = \frac{R_{вых1} \cdot R_{вых2}}{R_{вых1} + R_{вых2}}, \quad (8)$$

где:

$$R_{вых1} = Z_0 \cdot \frac{R_{ex1}/Z_0 \cdot (1 - X_{ex1}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta) + R_{ex1}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot (X_{ex1}/Z_0 + \operatorname{tg} \beta)}{(1 - X_{ex1}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta)^2 + (R_{ex1}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta)^2}, \quad (9)$$

$$R_{вых2} = Z_0 \cdot \frac{R_{выхQ}/Z_0 \cdot (1 - X_{выхQ}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta) + R_{выхQ}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot (X_{выхQ}/Z_0 + \operatorname{tg} \beta)}{(1 - X_{выхQ}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta)^2 + (R_{выхQ}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta)^2}. \quad (10)$$

$$R_{выхQ} = \frac{R_{вых3} \cdot R_{вых4}}{R_{вых3} + R_{вых4}}, \quad (11)$$

где:

$$R_{вых3} = Z_0 \cdot \frac{R_{ex2}/Z_0 \cdot (1 - X_{ex2}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta) + R_{ex2}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot (X_{ex2}/Z_0 + \operatorname{tg} \beta)}{(1 - X_{ex2}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta)^2 + (R_{ex2}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta)^2}; \quad (12)$$

$$R_{вых4} = Z_0 \cdot \frac{R_{выхQ}/Z_0 \cdot (1 - X_{выхQ}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta) + R_{выхQ}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot (X_{выхQ}/Z_0 + \operatorname{tg} \beta)}{(1 - X_{выхQ}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta)^2 + (R_{выхQ}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta)^2}. \quad (13)$$

R_{ex1} и X_{ex1} - активное и реактивное сопротивления входа R , R_{ex2} и X_{ex2} - активное и реактивное сопротивления входа S , $R_{выхQ}$ и $X_{выхQ}$ - активное и реактивное сопротивления выхода Q , $R_{вых\bar{Q}}$ и

$X_{\text{вых}}\bar{Q}$ - активное и реактивное сопротивления выхода $\bar{Q}$.

Аналогичным образом рассчитываются и реактивные составляющие выходных импедансов схемы:

$$X_{\text{вых}Q} = \frac{X_{\text{вых}1} \cdot X_{\text{вых}2}}{X_{\text{вых}1} + X_{\text{вых}2}}, \quad (14)$$

где:

$$X_{\text{вых}1} = Z_0 \cdot \frac{(1 - X_{\text{ex}1}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta) \cdot (X_{\text{ex}1}/Z_0 + \operatorname{tg} \beta) - R_{\text{ex}1}^2/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta}{(1 - X_{\text{ex}1}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta)^2 + (R_{\text{ex}1}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta)^2}; \quad (15)$$

$$X_{\text{вых}2} = Z_0 \cdot \frac{(1 - X_{\text{вых}Q}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta) \cdot (X_{\text{вых}Q}/Z_0 + \operatorname{tg} \beta) - R_{\text{вых}Q}^2/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta}{(1 - X_{\text{вых}Q}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta)^2 + (R_{\text{вых}Q}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta)^2}. \quad (16)$$

$$X_{\text{вых}Q} = \frac{X_{\text{вых}3} \cdot X_{\text{вых}4}}{X_{\text{вых}3} + X_{\text{вых}4}}, \quad (17)$$

где:

$$X_{\text{вых}3} = Z_0 \cdot \frac{(1 - X_{\text{ex}2}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta) \cdot (X_{\text{ex}2}/Z_0 + \operatorname{tg} \beta) - R_{\text{ex}2}^2/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta}{(1 - X_{\text{ex}2}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta)^2 + (R_{\text{ex}2}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta)^2}; \quad (18)$$

$$X_{\text{вых}4} = Z_0 \cdot \frac{(1 - X_{\text{вых}Q}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta) \cdot (X_{\text{вых}Q}/Z_0 + \operatorname{tg} \beta) - R_{\text{вых}Q}^2/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta}{(1 - X_{\text{вых}Q}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta)^2 + (R_{\text{вых}Q}/Z_0 \cdot \operatorname{tg} \beta)^2}. \quad (19)$$

Выражения (8-19) являются математической моделью реального RS-триггера на 2 моноиммитансных R-элементах «ИЛИ-НЕ», использующих отрезки линии передачи, что позволяет провести с их помощью исследование разработанного триггера.

Исследование влияния дестабилизирующих факторов на характеристики RS-триггера и оценка запаса его помехоустойчивости

Из анализа выражений (8-19) следует, что основными дестабилизирующими факторами, которые влияют на работу RS-триггера, являются:

- неустойчивость волнового сопротивления Z_0 отрезков линии передачи;
- неустойчивость фазовой постоянной β ;
- добротность входных импедансов $Q = X_{\text{ex}}/R_{\text{ex}}$.

Задачей исследования является оценка влияния перечисленных дестабилизирующих факторов и поиск путей для их минимизации.

Для моделирования работы схемы в условиях, приближенных к реальным, зададимся значениями параметров волнового сопротивления Z_0 отрезков линии передачи, фазовой постоянной β и добротности входных активных импедансов Q с учетом погрешности технологического процесса. Считаем, что волновое сопротивление отрезков линии передачи $Z_0 = 50 \pm 0,5 \text{ Ом}$, допустимую неустойчивость фазовой постоянной выражаем через неустойчивость частоты сигнала опорного генератора $\Delta f = \pm 1\%$ (что аналогично погрешности длины отрезка линии передачи $\Delta l = \pm 0,1 \text{ мм}$), и добротность входных активных импедансов $Q = 0 \div 1$. Моделирование проведено для состояний переключения триггера – для входных логических уровней (0;1) и (1;0), где, согласно рис. 4, входной логический уровень «0» подразумевает собою наличие входного активного импеданса $R_{\text{ex}} < 7 \text{ Ом}$, а входной логический уровень «1» - входного активного импеданса $R_{\text{ex}} > 200 \text{ Ом}$. Частота опорного сигнала $f = 10 \text{ ГГц}$.

Для сравнительной оценки помехоустойчивости RS-триггера на основе 2-х моноиммитансных R-элементов «ИЛИ-НЕ» рассчитаем относительную погрешность реализации выходного активного импеданса $R_{\text{вых}Q}$ при изменении каждого из выше перечисленных дестабилизирующих факторов:

$$\gamma = 100 \cdot \frac{R_{\text{вых}Q} - R'_{\text{вых}Q}}{R'_{\text{вых}Q}} \%, \text{ где } R_{\text{вых}Q} - \text{значение выходного активного импеданса с учётом влияния}$$

дестабилизирующего фактора, $R'_{\text{вых}Q}$ - значение выходного активного импеданса в идеальном случае.

Так как RS-триггер является симметричным элементом, выходные активные импедансы $R_{\text{вых}Q}$ и $R_{\text{вых}\bar{Q}}$ рассчитываются аналогично. Поэтому для сокращения объёма работы приведены расчеты только для $R_{\text{вых}Q}$. Результаты численного моделирования представлены на рис. 6-8.

Оценено влияние неустойчивости волнового сопротивления Z_0 линии передачи на выходной

активный импеданс $R_{\text{вых}Q}$ при разных вариантах входного логического состояния: (0;1) (рис. 6а) и (1;0) (рис. 6б), при $\Delta f = 0$ и $Q = 0$, а также рассчитана относительная погрешность изменения выходного активного импеданса $R_{\text{вых}Q}$ от влияния нестабильности волнового сопротивления Z_0 линии передачи (рис. 6в).

Из графика на рис. 6а следует, что при изменении волнового сопротивления Z_0 отрезков линии передачи в пределах $50 \pm 0,5 \text{ Ом}$ и диапазоне входных сопротивлений $R_{\text{вх}1} = 200 \div 250 \text{ Ом}$, $R_{\text{вх}2} = 5 \div 7 \text{ Ом}$ значение выходного сопротивления $R_{\text{вых}Q}$ находится в диапазоне $5,4 \div 6,7 \text{ Ом}$. При диапазоне входных сопротивлений $R_{\text{вх}1} = 5 \div 7 \text{ Ом}$, $R_{\text{вх}2} = 200 \div 250 \text{ Ом}$ значение выходного сопротивления $R_{\text{вых}Q}$ находится в диапазоне $196 \div 254 \text{ Ом}$ (рис. 6б). В обоих случаях при волновом сопротивлении $Z_0 > 50 \text{ Ом}$ выходное сопротивление $R_{\text{вых}Q}$ растет, а при $Z_0 < 50 \text{ Ом}$ - падает. Погрешность выходного активного сопротивления $R_{\text{вых}Q}$ составляет не более чем 1,17 % (рис. 6в) для всех состояний входных логических уровней (1;0) и (0;1). Из этого следует, что изменение волнового сопротивления Z_0 отрезков линии передач в заданном диапазоне незначительно влияет на работу RS-триггера.

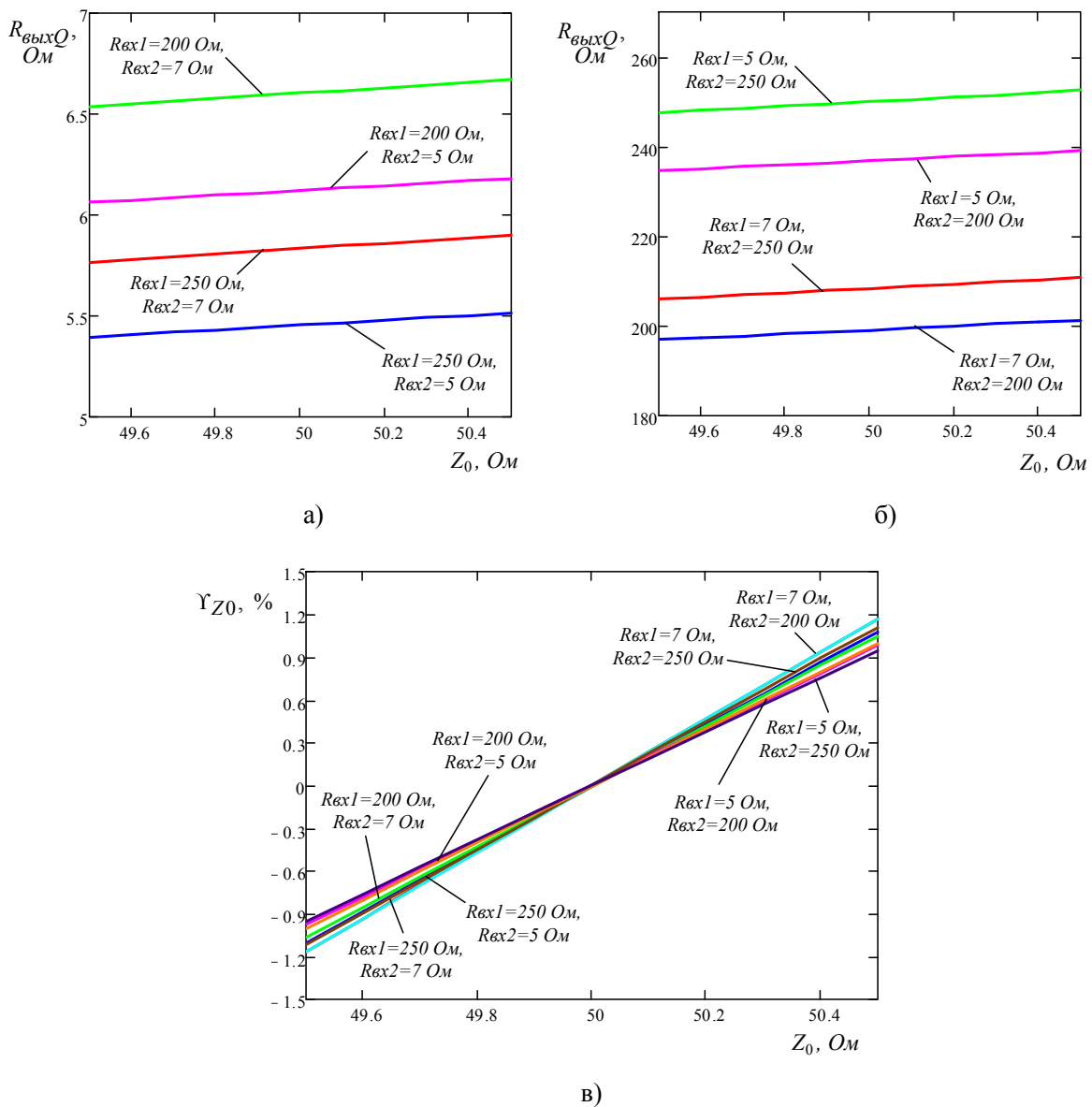


Рис. 6. Графики зависимости выходного активного сопротивления $R_{\text{вых}Q}$ от изменения волнового сопротивления Z_0 линии передачи при входных логических уровнях (1;0) (а) и (0;1) (б), относительной погрешности выходного активного импеданса $R_{\text{вых}Q}$ от влияния нестабильности волнового сопротивления Z_0 линии передачи (в).

Для оценки чувствительности выходного активного сопротивления $R_{\text{вых}Q}$ к изменению добротностей Q входных активных сопротивлений будем считать, что $Z_0 = 50 \text{ Ом}$ и $\Delta f = 0$. На рис. 7 приведены графики влияния изменения добротностей Q входных активных сопротивлений на выходной активный импеданс $R_{\text{вых}Q}$ при различных вариантах входного логического состояния (0;1) (рис. 7а) и (1;0) (рис. 7б), а также график относительной погрешности выходного активного импеданса $R_{\text{вых}Q}$ от влияния изменения добротностей Q входных активных сопротивлений (рис. 7в):

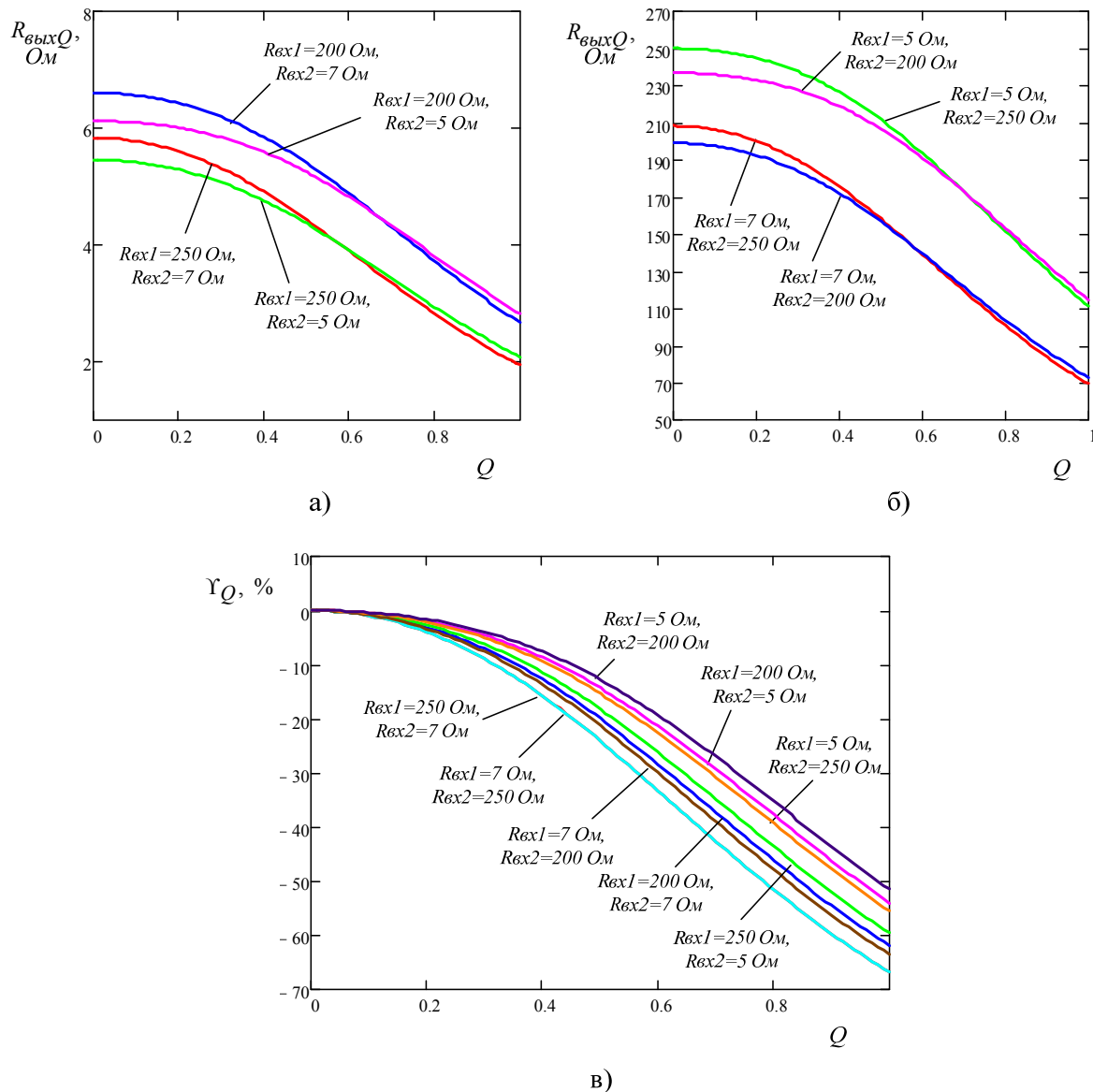


Рис. 7. Графики зависимости выходного активного сопротивления $R_{\text{вых}Q}$ от изменения добротности Q входных активных импедансов при входных логических уровнях (1;0) (а) и (0;1) (б), относительной погрешности выходного активного импеданса $R_{\text{вых}Q}$ от изменения добротности Q входных активных импедансов (в).

Из графиков на рис.7а,б следует, что при добротности $Q = 0 \div 1$ следует, что изменение добротности входных сопротивлений значительно влияет на выходное сопротивление $R_{\text{вых}Q}$, причем при росте добротности Q выходное сопротивление $R_{\text{вых}Q}$ падает. При $Q=1$ относительная погрешность выходного активного импеданса $R_{\text{вых}Q}$ равна 68 %, что является значительной помехой для работоспособности схемы. Для увеличения помехозащищенности триггера следует стремиться к наименьшей паразитной составляющей входных активных импедансов: например, при добротности $Q = 0.2$ значение относительной погрешности уменьшается до 4 % (рис. 7в). При этом значение выходного сопротивления $R_{\text{вых}Q}$ будет находиться в диапазоне $5,3 \div 6,4 \text{ Ом}$ при логическом «0» на выходе триггера, и в диапазоне $192 \div 245 \text{ Ом}$ при логической

«1» на выходе триггера.

Для оценки чувствительности выходного активного сопротивления $R_{\text{вых}Q}$ к изменению частоты опорного сигнала f будем считать, что $Z_0 = 50 \text{ Ом}$ и $Q = 0$. На рис. 8 приведены графики влияния изменения частоты опорного сигнала f на выходной активный импеданс $R_{\text{вых}Q}$ при различных вариантах входного логического состояния (0;1) (рис. 8а) и (1;0) (рис. 8б), а также график относительной погрешности выходного активного импеданса $R_{\text{вых}Q}$ от влияния изменения частоты опорного сигнала f (рис. 8в):

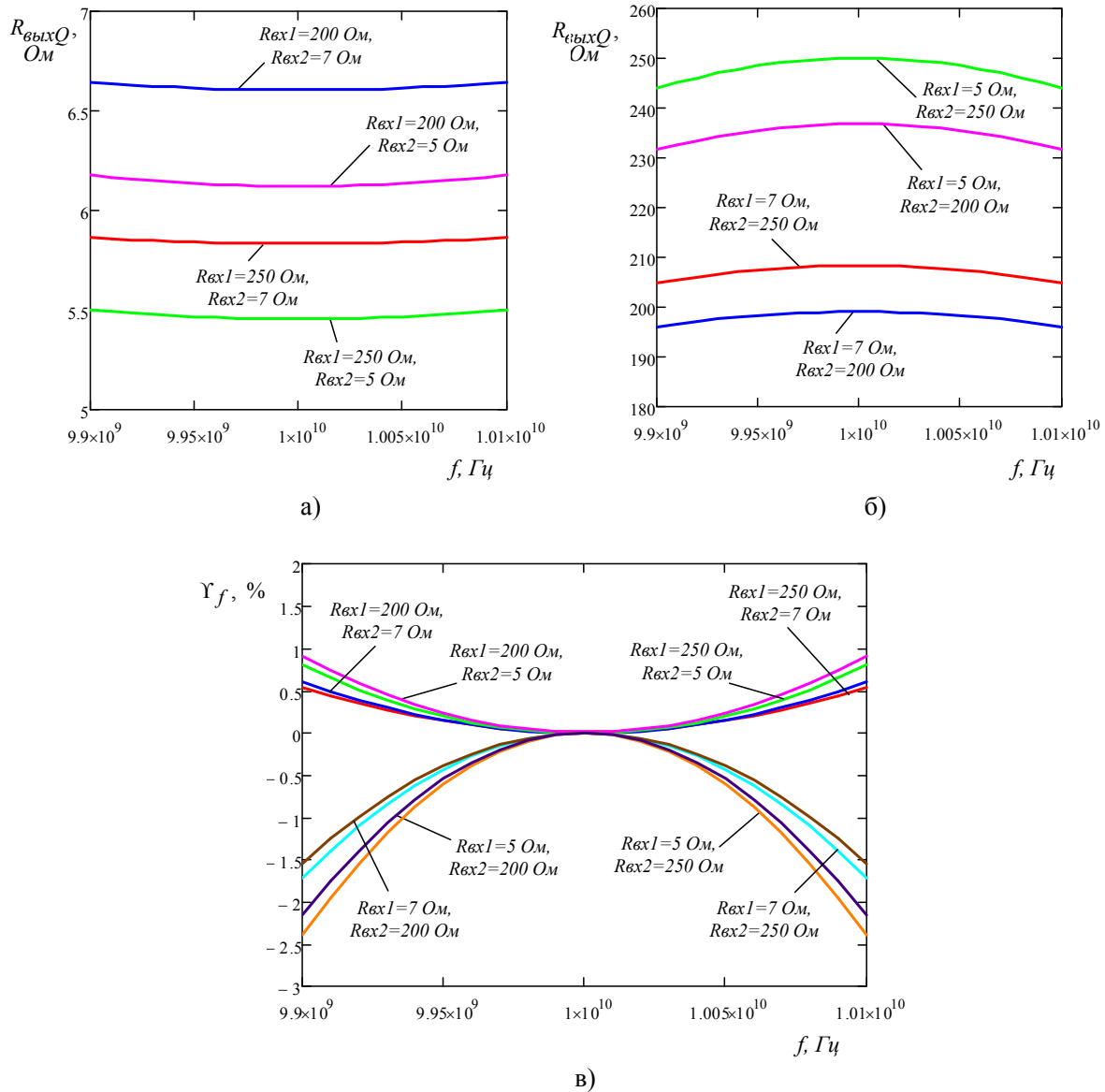


Рис. 8. Графики зависимости выходного активного сопротивления $R_{\text{вых}Q}$ от изменения опорной частоты генератора f при входных логических уровнях (1;0) (а) и (0;1) (б), относительной погрешности выходного активного импеданса $R_{\text{вых}Q}$ от изменения опорной частоты генератора f (в).

Из графика на рис. 8а следует, что при отклонении опорной частоты генератора $f = 10 \text{ ГГц}$ на $\pm 1\%$ в диапазоне входных сопротивлений $R_{\text{ex}1} = 200 \div 250 \text{ Ом}$, $R_{\text{ex}2} = 5 \div 7 \text{ Ом}$ значение выходного сопротивления $R_{\text{вых}Q}$ увеличивается по сравнению с номинальным значением. В диапазоне входных сопротивлений $R_{\text{ex}1} = 5 \div 7 \text{ Ом}$, $R_{\text{ex}2} = 200 \div 250 \text{ Ом}$ значение выходного сопротивления уменьшается (рис. 8б). Общая относительная погрешность выходного активного импеданса $R_{\text{вых}Q}$ при отклонении опорной частоты на 1% составляет не более 2,4% (рис. 8в).

Выводы

Приведено обоснование схемы RS-триггера, построенного на двух моноиммитансных логических

R-элементах «ИЛИ-НЕ», использующие трансформирующие свойства отрезков линии передачи, а также разработана его математическая модель.

Исследовано влияние дестабилизирующих факторов (изменения волнового сопротивления Z_0 линии передачи, нестабильность опорной частоты генератора Δf , добротности входных активных импедансов Q) на передаточную характеристику RS-триггера на 2 моноиммитансных R-элементах «ИЛИ-НЕ», которые показали, что изменение величины волнового сопротивления Z_0 в диапазоне $50 \pm 0,5 \text{ Ом}$ практически не влияет на выходной активный импеданс схемы, величина относительной погрешности в этом случае не превышает 1,17%. Изменение добротности входных активных импедансов Q в диапазоне $0 \div 1$ приводит к относительной погрешности выходного активного импеданса $R_{\text{вых}Q}$ до 68%. При уменьшении добротности Q относительная погрешность выходного активного импеданса $R_{\text{вых}Q}$ также уменьшается. При нестабильности опорной частоты генератора $\Delta f = 1\%$ относительная погрешность выходного активного импеданса $R_{\text{вых}Q}$ составляет не более чем 2,4 %.

Таким образом следует, что для обеспечения высокой помехоустойчивости схемы необходимо стремиться к уменьшению значения реактивного сопротивления во входных активных импедансах. Для корректной работы схемы величина добротности входных активных импедансов должна не превышать 0,2, что соответствует относительной погрешности выходного активного импеданса в 4%.

Литература

1. Жан М. Рабаи Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования / Жан М. Рабаи, Ананта Чандракасан, Боровож Николич // Digital Integrated Circuits. — 2-ое изд. — М. : «Вильямс», 2007. — С. 912. — ISBN 0-13-090996-3.
2. Семенов А.С. Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации / А. С. Семенов, В. Л. Смирнов, А. В. Шмалько. — М. : Радио и связь, 1990. — 224 с. — ISBN 5-256-00738-6.
3. Юдицкий С.А. Пневматические системы управления приводом машин-автоматов / С. А. Юдицкий. — М. : Энергия, 1968. — 88 с.
4. Темный В. П. Основы гидроавтоматики / В. П. Темный. — М. : Наука, 1972. — 173 с.
5. Билик Р. В. Бесконтактные элементы и системы телемеханики с временным разделением сигналов / Р. В. Билик, Е. С. Соцков. — М. : Наука, 1964. — 415 с.
6. Филинюк Н.А. Моноиммитансные логические RLC-элементы / Н.А. Филинюк, Л.Б. Лищинская, Е.В. Войцеховская, В.П. Стахов // Вісник Хмельницького національного університету. — 2015. — № 3. — С. 117–121.
7. Microwave imittance logical elements / L.B. Lishchynska, N.A. Filinyuk, R.Y. Chekhmestrouk, Y.S. Rozhkova – 22st International Crimean Conference: Microwave and Telecommunication Technology, CriMiCo 2012. – Sevastopol, Ukraine. – 10–14 September 2012. – P. 137–138.
8. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ : учебное пособие. Том 1 / Лебедев И. В. — М. : Высшая школа, 1970. — 439 с.

Рецензія/Peer review : 27.10.2016 р.

Надрукована/Printed : 14.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Перевозніков С.І.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СВІТЛОДІОДІВ В НИЗЬКОІНТЕНСИВНІЙ ЕЛЕКТРОРЕТИНОГРАФІЇ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ НЕЙРОТОКСИКАЦІЇ

Розглянуто можливості застосування низькоінтенсивної електроретинोगрафії для задач оцінювання ризиків нейротоксикації. Використано світлодіод в якості джерела світлового подразнення у низькоінтенсивній електроретинोगрафії. Застосування світлодіоду вимагає визначення та контролю параметрів світлового подразнення, тому спроектовано установку, що дозволяє визначати параметри світлового подразнення. Наведено результати дослідження ультрафіолетового білого світлодіоду марки HL-508H238WC.

Ключові слова: нейротоксикація, низькоінтенсивна електроретинोगрафія, світлодіод, світлове подразнення.

P.O. TYMKIV, O.V. GEVKO

Ternopil National Technical University named after Ivan Pul'uj

PERSPECTIVES USE LEDS IN LOW-LIGHT ELECTRORETINOGRAPHY FOR DIAGNOSIS NEUROTOXICITY

Early changes in the human body neurotoxicity, apparent change in the human retina. As a result, found inhibition of bioelectric activity of the retina in the form of increased electrical sensitivity threshold, lengthening the time latency, reduced amplitude parameters. The study shows that the b-wave electroretinogram is most sensitive to toxins and its value depends on the intensity of the light stimulus. Therefore, reducing the intensity of light stimulation, most likely register b-wave. The development of modern components leads to widespread use of LEDs as light irritation, the relevant question is to identify and control parameters luminous flux. Accordingly, the aim of our study was to determine and control the parameters of stimulation with light use of LED, low intensity, to determine the risk neurotoxicity, especially in the early stages of development. The use of LEDs requires determination and control of light stimulation parameters so designed setting that allows you to determine the parameters of light stimulation. The results of the study ultra-white LED type HL-508H238WC.

Key words: neurotoxicity, low-light electroretinography, LED, light irritation.

Вступ

Проблема наркозалежності, профпатології та токсичності є не тільки медичною, але й соціально-економічною, що потребує відповідної своєчасної діагностики та лікування [1]. Значного занепокоєння викликає факт зростання серед людей молодого віку токсичних енцефалопатій, зумовлених вживанням синтетичних наркотиків, що містять марганець. Не менш важливим є невпинний ріст поширеності професійних захворювань. Так, у 2011 р. в Україні зареєстровано 5396 випадків токсичної енцефалопатії, яка має тенденцію до щорічного зростання [2]. Серед професійних захворювань особливе місце посідають нейротоксикози, викликані хімічними факторами, що впливають на центральну нервову систему. До промислових хімічних речовин, які переважно вражають нервову систему, відносять: металеву ртуть, марганець, сполуки миш'яку, тетраетилсвинець тощо [1–3].

Нейротоксикоз – це токсична енцефалопатія при якій домінують неврологічні розлади на фоні прогресуючої недостатності периферичної гемодинаміки [4]. Синдром токсико-гіпоксичної енцефалопатії розглядають як функціональну недостатність центральної нервової системи, в результаті поєднання метаболічних, гемодинамічних, морфологічних змін в тканинах мозку при хімічному ураженні [5]. Нейротоксикоз розвивається під впливом нейротоксинів – хімічних сполук, що потрапили в організм у такій кількості, яка здатна викликати порушення функцій життєво важливих органів і створювати небезпеку для життя [6]. Інтоксикацією, або отруєнням, називається патологічний стан, викликаний порушенням хімічного гомеостазу, внаслідок взаємодії токсиканту з організмом. Речовини, що можуть викликати інтоксикацію, поділяють на [7]:

- 1) промислові отруйні речовини;
- 2) отрутохімікати (пестициди);
- 3) медикаментозні засоби;
- 4) побутові хімікалії;
- 5) біологічні, рослинні і тваринні отрути;
- 6) бойові отруйні речовини.

Крім того, токсиканти можуть вибірково впливати на будь-яку систему організму чи органи. Токсичне ураження нервової тканини може відбутися в результаті впливу:

- а) важких металів;
- б) деяких ліків;
- в) органічних сполук фосфору;
- г) бензину;
- д) чадного газу;
- е) метилового і етилового спирту.

Оскільки, під впливом цих токсинів у першу чергу страждає головний мозок [8], то поширення гострих та хронічних нейротоксикозів складають вагомому проблему як клінічної токсикології, професійної

медицини, неврології, так і медицини в цілому.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

На сьогоднішній день науковцями розроблені схеми діагностики токсичного ураження мозку професійного генезу [9]. На прикладі інтоксикації у пожежників доведено, що основним її клінічним проявом є токсична енцефалопатія і обґрунтована концепція її патогенезу (В.С. Рукавишников, С.Ф. Шаяхметов, О.Л. Лахман) [10]. Первинною і визначальною ланкою у формуванні даної патології є стан гістотоксичної або гемічної гіпоксії. В подальшому відбувається порушення ауторегуляції церебрального кровообігу, зміна функціонування інтегративних систем мозку, що проявляється зміною ритмів головного мозку. Нарешті, останній етап патогенезу, пов'язаний з морфологічними змінами, що приводить до формування стійкої клінічної картини енцефалопатії.

Основними клінічними ознаками токсичної енцефалопатії є головний біль, зниження працездатності, зміни психоемоційного фону. Проте, дані симптоми є характерними для багатьох захворювань, відповідно своєчасна діагностика ступеня ураження мозку є важливим завданням для медиків, адже від діагнозу залежить і правильність підбору патогенетично спрямованого лікування. Особливість клінічної симптоматики токсичних енцефалопатій залежить, також, від виду токсину [8].

Відомо, що на сьогоднішній день не розроблені точні методи діагностики токсичної енцефалопатії [11]. Важливими обстеженнями для таких пацієнтів є: анамнез (зокрема, епідеміологічний), неврологічний огляд, електрофізіологічні, нейровізуалізаційні та нейропсихологічні методи, хімічні та біохімічні маркери. Проте більшість з них володіють низькою чутливістю та специфічністю.

Важлива роль у діагностиці нейротоксикозів, відведена електроенцефалографічному обстеженню, де зміни біоелектричної активності мозку повністю співпадають із вираженістю клінічної картини токсичної енцефалопатії. Спільними електроенцефалографічними ознаками нейроінтоксикацій є наявність помірних загальномозкових змін, що проявляються відсутністю регулярного домінуючого ритму і наявністю поліритмічної та поліморфної активності з високим рівнем повільних хвиль у патерні, порушенням правильного топічного розподілу основних ритмів, часта реєстрація пароксизмальної активності, в тому числі епілептоформної тощо. З досліджень Катаманової Є.В [11], очевидним є той факт, що при ртутній інтоксикації відбувається етапність втягнення в патологічний процес структур головного мозку. Первинною ланкою змін на електроенцефалограмі є втягнення підкоркових структур, потім зміни зі сторони гіпокампі, а у віддаленому періоді – мозолистого тіла. Вогнища патологічної електроенцефалограми у зонах мозочку є характерними для всіх етапів. Існують більш чіткі діагностичні критерії діагностики токсичної енцефалопатії на ранніх стадіях. Зокрема, проводять електроенцефалографію та біохімічні дослідження крові (рівні каталази, гідроперекису ліпідів, ліпопротеїдів), або стандартизовані багатофакторні дослідження особистості та тест Спілбергера-Ханіна на реактивну тривожність [11]. Так, для діагностування нейротоксикозу при ртутних інтоксикаціях, окрім електроенцефалографії, застосовують ультразвукову діагностику екстракраніальних судин, реоенцефалографію, психологічні дослідження емоційно-особистісної і мнестико-інтелектуальної сфер [12].

Проте всі ці методи не володіють високою точністю при діагностиці на ранніх етапах. Непогано зарекомендували себе імунологічні дослідження у комплексному обстеженні пацієнтів з нейротоксикозом, але важливим недоліком виявилась висока вартість реактивів. Тому, на сьогоднішній день, постала проблема пошуку своєчасної ранньої діагностики нейротоксикації, з метою попередження ускладнень та коректного підбору лікування.

Постановка завдання

Відомо той факт, що ранні зміни організму людини при нейротоксикації проявляються зміною сітківки [13]. Зокрема, встановлено, що при хронічній ртутній інтоксикації спостерігається зниження товщини сітківки у ділянці фовеа, що свідчить про розвиток у ній дистрофічних змін [14]. В результаті, виявлено пригнічення біоелектричної активності сітківки у вигляді підвищення порогу електричної чутливості, подовження латентного часу, зниження амплітудних показників. Важливою деталлю є те, що виявлені структурно-функціональні зміни зорової системи можуть проявлятися як при першій, так і при третій стадіях ртутної інтоксикації [14].

З досліджень Шамшинової А.М. видно, що b-хвиля ретинограми є найбільш чутливою до токсинів і її величина, залежить від інтенсивності світлового стимулу [15]. Тому при зниженні інтенсивності світлового подразнення, найбільше шансів зареєструвати b-хвилю. При визначенні інтенсивності світлового подразнення, необхідним є врахування двох вагомих критеріїв:

- I) поріг логарифму інтенсивності, що дає можливість реєстрації ЕРГ;
- II) максимальна амплітуда b-хвилі.

Відповідно, рівень зорового подразнення збільшується пропорційно до логарифму інтенсивності або контрасту стимулу. Доцільним є визначення залежності електроретинограми від інтенсивності подразнення, щоб у повній мірі охарактеризувати стан сітківки (закон Вебера-Фехнера) [16]. Проте, суттєвим недоліком електроретинографічного дослідження є дискомфорт пацієнта, викликаний «стандартною» високою інтенсивністю світлового подразнення, (що проявляється відчуттям чужорідного тіла, слезотечею та ін.), тому дедалі актуальнішим є питання підбору характеристик світлового стимулу з мінімальним створенням дискомфорту на зоровий аналізатор пацієнта та максимальною інформативністю для діагностування [17, 18].

Результати дослідження

Відповідно, метою нашого дослідження було визначення та контроль параметрів світлового подразнення зниженої інтенсивності, для визначення ризиків нейротоксикозу, методом низькоінтенсивної електроретинографії, особливо на ранніх етапах розвитку.

Оскільки розвиток сучасної елементної бази, спричинив необхідність застосування світлодіодів в якості фотостимулятора [19, 20], то для визначення та контролю параметрів світлового потоку, було спроектовано установку дослідження параметрів світлового потоку світлодіодів (рис.1).

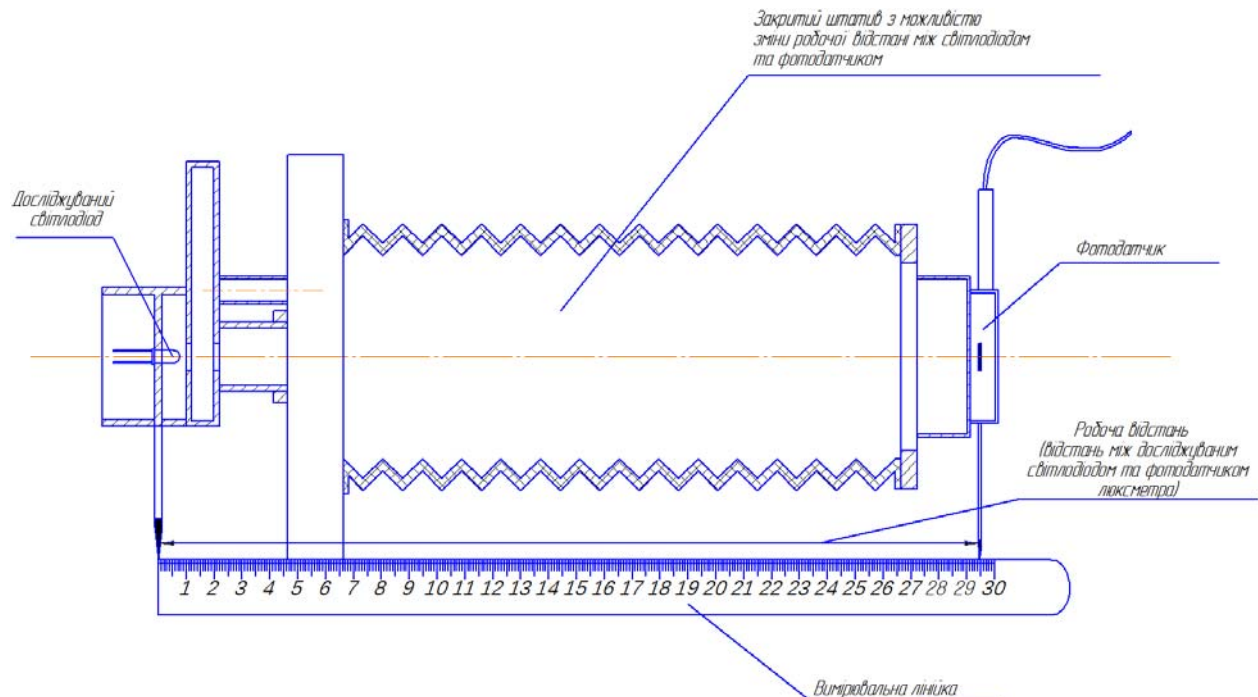


Рис. 1. Установка для визначення та контролю світлодіодів при зниженні інтенсивності світлотехнічних параметрів

Для реалізації поставленої мети було проведено дослідження світлодіода HL-508H238WC на предмет зменшення параметрів живлення світлодіода (як зменшення прямого струму через світлодіод, так і застосування ШІМ-модуляції живлення).

В табл. 1 представлено результати вимірювання залежності освітленості трьох однотипних світлодіодів HL-508H238WC від зміни сили струму, при зафіксованій робочій відстані $H=200$ мм (рис. 2).

Таблиця 1

Залежність освітленості від зміни параметрів живлення світлодіодів (сили струму)

№	I , мА	E , лк (VD1)	E , лк (VD2)	E , лк (VD3)
1	1	50,1	50,1	50,6
2	2	89,2	89,4	91,4
3	3	128,4	128,7	132,1
4	4	166,8	167,4	172,2
5	5	201,7	202,4	208,6
6	6	235,4	236,2	243,8
7	7	270,2	271,0	279,8
8	8	304,6	305,6	315,8
9	9	338,6	339,4	351,0
10	10	372,1	373,1	385,5

Дослідження показало, що відхилення від середнього значення освітленості для кожного із досліджуваних світлодіодів, не перевищували 10%, як і зазначено у паспорті на світлодіод. Також було досліджено залежність освітленості від зміни відстані (діапазон від 120 мм до 250, з кроком 5 мм) (табл. 2, рис. 3).

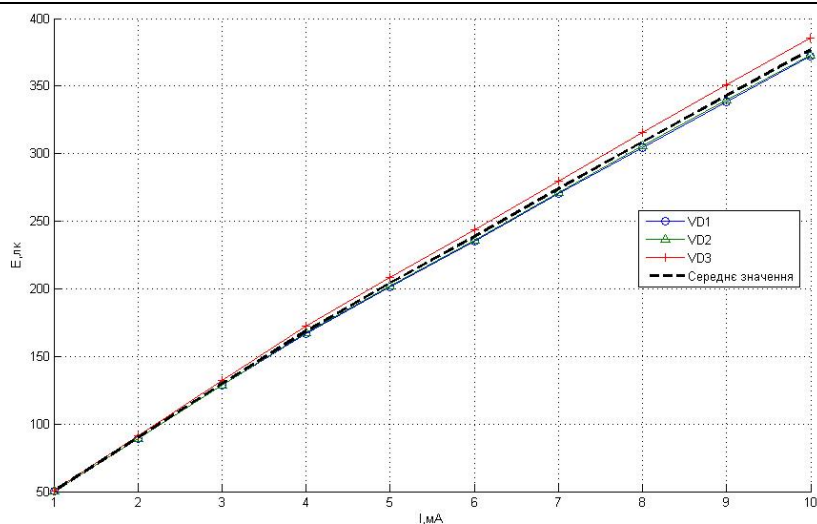


Рис. 2. Графік залежності освітленості від сили струму для світлодіодів типу HL-508H238WC

Таблиця 2

Залежність освітленості від зміни робочої відстані між світлодіодом та фотодатчиком

№	H, мм	E, лк (VD1)	E, лк (VD2)	E, лк (VD3)
1	120	124,9	131,0	127,1
2	125	115,3	122,5	117,8
3	130	106,8	113,5	109,0
4	135	99,0	105,8	101,5
5	140	91,9	98,7	94,9
6	145	86,0	92,3	88,5
7	150	80,2	86,2	82,9
8	155	75,2	81,1	77,7
9	160	70,5	76,2	72,9
10	165	66,3	71,6	68,6
11	170	62,3	67,7	64,6
12	175	58,6	63,7	60,9
13	180	55,4	60,2	57,6
14	185	52,3	57,1	54,5
15	190	49,5	54,2	51,8
16	195	47,0	51,6	49,0
17	200	44,6	48,9	46,6
18	205	42,5	46,5	44,4
19	210	40,4	44,4	42,3
20	215	38,5	42,4	40,2
21	220	36,6	40,4	38,4
22	225	35,0	38,7	36,6
23	230	33,4	37,0	34,8
24	235	32,0	35,4	33,5
25	240	30,6	33,9	32,1
26	245	29,3	32,4	30,7
27	250	28,2	31,2	29,4

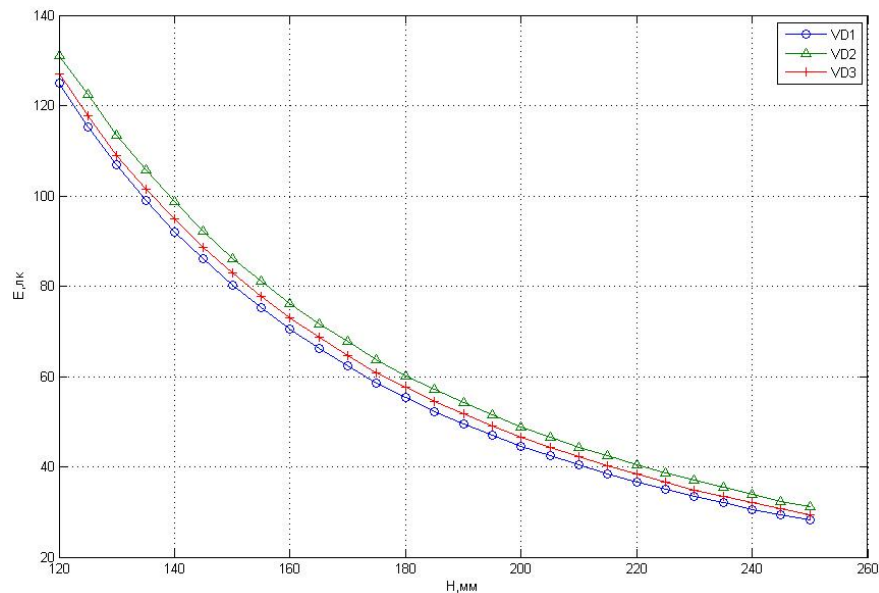


Рис. 3. Графік залежності освітленості від робочої відстані для світлодіодів типу HL-508H238WC

Оскільки зниження параметрів живлення світлодіода, обмежене певним пороговим значенням сили струму, то було вирішено застосувати ШІМ-модуляцію живлення. Залежність освітленості від зміни заповнення імпульсів живлення (шпаруватості, щільності $D, \%$) наведено в табл. 3 та рис. 4.

Таблиця 3

Залежність освітленості від зміни заповнення імпульсу живлення світлодіода HL-508H238WC

№	$D, \%$	$E, \text{лк}$
1	10	9,4
2	20	20,4
3	30	31,0
4	40	42,7
5	50	53,1
6	60	63,9
7	70	75,2
8	80	87,9
9	90	100,9
10	100	106,7

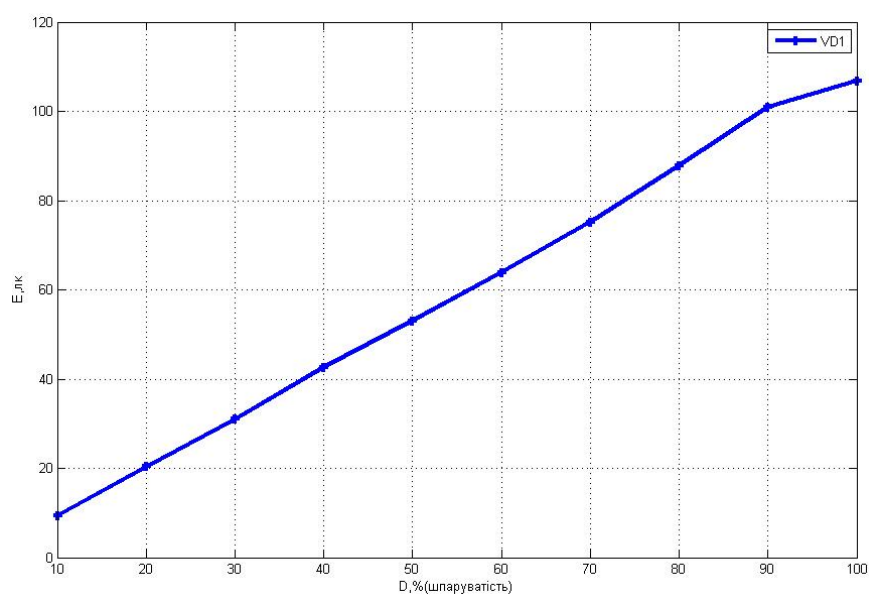


Рис. 4. Графік залежності освітленості від заповнення імпульсу живлення світлодіода HL-508H238WC

Висновки

Застосування електроретинографії зі зниженою енергією світлового подразнення є перспективним

для виявлення нейротоксикозу на ранніх етапах прояву. Даний метод можна застосовувати як для скринінгового обстеження нейротоксикозу серед населення з метою своєчасного його виявлення, так і для його моніторингу що потребує подальшого випробування у неврології, професійній медицині та токсикології. Проте, застосування світлодіода, в якості фотостимулятора для низькоінтенсивної електроретинографії, вимагає визначення та контролю параметрів світлового потоку. Спроектована установка дозволяє проводити визначення параметрів освітленості при зміні робочої відстані та зміні параметрів живлення світлодіода, що в подальшому уможливило проведення контролю світлового подразнення, зниженого у декілька разів відносно рівня освітленості стандартної електроретинографії.

Література

1. Матюшко М.Г. Неврологічні аспекти марганцевої нейротоксичності / М.Г. Матюшко, О.А. Мяловицька, В.С. Трейтак та ін. // Міжнародний неврологічний журнал. – Донецьк, 2010. – № 3. – С. 178–181.
2. Горностай О.Б. Розвиток професійних захворювань в Україні / О.Б. Горностай // Науковий вісник НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.16. – С. 396–401.
3. Костюк І. Професійні хвороби / І. Костюк, В. Капустник. – Київ : «Здоров'я», 2003. – 635 с.
4. Пяткин К. Д. Микробиология : учебник для мед. институтов / К.Д. Пяткин, Ю.С. Кривошеин // М. : Медицина. 1981. – 512 с.
5. Батоциренов Б.В. Новые пути решения проблемы фармакологической коррекции нарушений метаболизма у больных в критическом состоянии с острыми отравлениями нейротропными ядами с целью предупреждения и лечения энцефалопатии / Б.В. Батоциренов, Г.А. Ливанов, С.А. Васильев // Материалы IX съезда Федерации анестезиологов и реаниматологов. – Иркутск, 27–29 сентября 2004. – С. 168–170.
6. Лужников Е.А. Медицинская токсикология: национальное руководство / Е.А. Лужников. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2012. – 928 с.
7. Тарасов А.В. Основы токсикологии : учебное пособие / А.В. Тарасов, Т.В. Смирнова. – М. : Маршрут, 2006. – 160 с.
8. Паєнок А.В. Стан перекисного окислення ліпідів у хворих з енцефалопатіями різного генезу / А.В. Паєнок // Буковинський медичний вісник. – 2007. – Т. 11, № 4. – С. 41–43.
9. Колесов В.Г. Диагностика и медицинская реабилитация в отдаленном периоде профессиональной нейротоксикации у пожарных : пособие для врачей / В.Г. Колесов, Г.М. Бодиевкова, В.В. Бенеманский. – Иркутск, 2004. – 36 с.
10. Рукавишников В.С. Профессиональная патология: итоги и перспективы исследований / В.С. Рукавишников, С.Ф. Шаяхметов, О.Л. Лахман, В.А. Панков // Бюллетень СО РАМН. – 2008. – № 1 (129). – С. 57–63.
11. Катаманова Е.В. Нарушения функциональной активности мозга при профессиональном воздействии нейротоксикантов : дис. ... доктора медицинских наук : 14.02.04 / Катаманова Елена Владимировна. – Ангартск, 2012. – 295 с.
12. Лахман О.Л. Современные подходы к классификации профессиональной интоксикации ртутью / О.Л. Лахман, Е.В. Катаманова, Т.Н. Константинова, О.И. Шевченко, В.А. Мещерягин, О.К. Андреева, Д.В. Русанова, Н.Г. Судакова // Экология человека. – 2009. – № 12. – С. 22–27.
13. Environmental Health Criteria 223. Neurotoxicity Risk Assessment For Human Health: Principles And Approaches [Електрон. ресурс]. – Режим доступа : <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc223.htm>
14. Яблонская Д.А. Поражение зрительной системы при хронической ртутной интоксикации : дис. ... кандидата медицинских наук : 14.02.04, / 14.03.03 / Яблонская Дарья Александровна. – Иркутск, 2011. – 295 с.
15. Шамшинова А.М. Функциональные методы исследования в офтальмологии / А.М. Шамшинова, В.В. Волнов. – Москва : Медицина, 1998. – 414 с.
16. Тимків П.О. Застосування закону Вебера-Фехнера у квантовій електроретинографії / П.О. Тимків, Ю.З. Лецишин, В.П. Забитівський, Л.Б. Демчук // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського: Інформаційні системи і технології. Математичне моделювання. – Кременчук. – 2015. – № 5(94). – С. 79–85.
17. Тимків П. О. Визначення параметрів світлового подразнення для задач виявлення нейротоксикозу / П. О. Тимків, О. В. Гевко // Матеріали XIX наукової конференції ТНТУ ім. Ів. Пулюя, 18-19 травня 2016 р. – Т. : ТНТУ, 2016. – С. 124-125. — (Імовірнісні моделі біофізичних сигналів і полів та обчислювальні методи і засоби їх ідентифікації, приладобудування).
18. Тимків П.О. Застосування адаптивно-рекурсивної фільтрації з врахуванням математичної моделі квантового електроретинографічного сигналу / П.О. Тимків // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 4 (191). – С. 107–112.
19. Тимків П. О. Електроретинографічний фотостимулятор: проблеми при застосуванні, та шляхи їх вирішення / П.О. Тимків, Л.Б. Демчук, В.П. Забитівський // Науковий огляд. – К., 2014. – № 7(8). – С. 57–69.
20. Тимків П.О. Визначення експозиції світлового подразнення у низькоінтенсивній світловій стимуляції / П.О. Тимків, Л.Б. Демчук, М.В. Бачинський // Науковий вісник Чернівецького університету. Фізика. Електроніка. – 2015. – Том 4. – Випуск 1. – С. 76–82.

Рецензія/Peer review : 16.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 14.12.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Пастух О. А.

УДК 004.891.3: 004.3

Р.А. МАЛЯРЧУК, Т.О. ГОВОРУЩЕНКО

Хмельницький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИБОРУ МЕТОДОЛОГІЇ РОЗРОБЛЕННЯ ДЛЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІЗНИХ ТИПІВ

У статті вперше виконано моделювання процесу вибору методології розроблення для програмного забезпечення різних типів, яке дало можливість зробити висновки щодо найбільш та найменш підходящих методологій розроблення для програмного забезпечення різних типів.

Ключові слова: програмне забезпечення (ПЗ), методологія розроблення ПЗ, характеристики ПЗ різних типів, ключові принципи методологій розроблення ПЗ.

R.A. MALYARCHUK, T.O. HOVORUSHCHENKO

Khmelnytsky National University

MODELLING OF SELECTION OF SOFTWARE DEVELOPMENT METHODOLOGY FOR SOFTWARE OF DIFFERENT TYPES

The article describes the dependence of the successful implementation of software of different types and sizes from selection of the software development methodology. In the article the modelling of selection of software development methodology for software of various types was conducted by comparing the previously identified characteristics of different types of software (Web-applications, mobile applications, e-learning programs, applications for statistics and accounting), automated systems and information systems) and the key principles of modern software development methodologies (SCRUM, KANBAN, DSDM, MSF, RUP, XP, Waterfall). Conducted modelling has made it possible to draw conclusions about the most and least appropriate methodologies for development of software of different types.

Keywords: software, software development methodology, characteristics of different types of software, key principles of software development methodologies.

Вступ

Наразі існує велика кількість методологій розроблення ПЗ, але відсутні чіткі стандартизовані критерії вибору методології для розроблення ПЗ певного типу, в той час як від вибору методології розроблення ПЗ залежить успішність реалізації програмного проекту різних типів та розмірів – рис. 1 [1].

CHAOS RESOLUTION BY AGILE VERSUS WATERFALL

SIZE	METHOD	SUCCESSFUL	CHALLENGED	FAILED
All Size Projects	Agile	39%	52%	9%
	Waterfall	11%	60%	29%
Large size Projects	Agile	18%	59%	23%
	Waterfall	3%	56%	42%
Medium Size Projects	Agile	27%	62%	11%
	Waterfall	7%	68%	25%
Small size Projects	Agile	56%	36%	4%
	Waterfall	44%	45%	11%

The resolution of all software projects from FY2011-2015 within the new CHAOS database, segmented by the agile process and waterfall method. The total number of software projects is over 10,000.

Рис. 1. Порівняння успішності програмних проектів, реалізованих за каскадними та AGILE-методологіями

При виборі методології розроблення ПЗ зараз не враховується тип та цільове призначення програмного проекту, хоча автор [2] підкреслює важливість вибору не «найкращої» методології, а тієї, яка найкращим чином відповідає проектній задачі та колективу розробників. Відтак різні типи програмних проектів вимагають різних підходів, оскільки кожна категорія проектів має різні пріоритети і цілі, тому важливою і актуальною є задача вибору методології розроблення для програмного забезпечення конкретного типу.

У [3] було визначено основні характеристики різних типів ПЗ (Web-додатків, мобільних додатків, програм електронного навчання, прикладних програм (для статистики та бухгалтерії), автоматизованих систем та інформаційних систем) і основних принципів сучасних методологій розроблення ПЗ (SCRUM, KANBAN, DSDM, MSF, RUP, XP, Waterfall), на основі яких і відбуватиметься підбір необхідної методології для поставленої задачі шляхом порівняння множини необхідних характеристик ПЗ розроблюваного типу з множинами принципів, які забезпечуються різними методологіями розроблення. Тому метою даного

дослідження є моделювання процесу вибору методології розроблення програмного забезпечення для програмних проектів різних типів.

Моделювання процесу вибору методології розроблення програмного забезпечення для програмних проектів різних типів

У [3] автори представили кожен розглядуваний тип ПЗ у формалізованому вигляді – у вигляді пари $T_i = \langle EC_{T_i}, IC_{T_i} \rangle$, де EC_{T_i} – множина сутнісних характеристик ПЗ i -го типу, IC_{T_i} – множина показникових характеристик, які необхідно забезпечити при реалізації ПЗ i -го типу.

Крім цього, у [3] авторами було представлено у вигляді множин M_j основних принципів також і всі розглядувані методології розроблення ПЗ.

Тоді процес вибору (підбору) методології розроблення ПЗ для програмних проектів різних типів промодельємо за допомогою операції перетину множин сутнісних та показникових характеристик ПЗ кожного типу із множинами основних принципів всіх розглядуваних методологій розроблення ПЗ:

1) для Web-додатків:

$$EC_{Web} \cap M_{SCRUM} = \{Par, Cmrt, Fbu\},$$

$$IC_{Web} \cap M_{SCRUM} = \{Ia\},$$

де Par – можливість внесення змін до вимог протягом всього життєвого циклу проекту, $Cmrt$ – можливість керування розробкою та контентом в режимі реального часу, Fbu – зворотній зв'язок з користувачем, Ia – висока інтерактивність (високий рівень взаємодії із зовнішніми джерелами інформації та зовнішнім ПЗ);

$$EC_{Web} \cap M_{KANBAN} = \{Cmrt, Par, Dv, Fbu\},$$

$$IC_{Web} \cap M_{KANBAN} = \{Po_{Web}\},$$

де Dv – візуалізація розроблення, $Po_{Web} = \{Pr, Sa, Is, Rt, Bw, Om, Sb\}$ – оптимізація процесу (Pr – висока продуктивність, Sa – відносно невеликий розмір додатку, Is – висока швидкість взаємодії, Rt – малий час відгуку, Bw – висока пропускну здатність, Om – відносно невеликий обсяг оперативної пам'яті, Sb – висока здатність збільшувати продуктивність за потреби);

$$EC_{Web} \cap M_{DSDM} = \{Cmrt, Par, Sfr, Fbu, Tac\},$$

$$IC_{Web} \cap M_{DSDM} = \{Ia, Qua\},$$

де Sfr – вивчення можливості реалізації ПЗ та галузі його застосування, Tac – тестування протягом всього циклу робіт, $Qua = \{Ub, Ss, Rb, Fc\}$ – висока якість (згідно стандарту ISO25010 [4], зручність використання, безпека та захищеність, надійність та функційна повнота – є основними характеристиками якості ПЗ);

$$EC_{Web} \cap M_{MSF} = \{Par, Fbu, Bpc\},$$

$$IC_{Web} \cap M_{MSF} = \{Sb\};$$

$$EC_{Web} \cap M_{RUP} = \{Par, Fbu\},$$

$$IC_{Web} \cap M_{RUP} = \{Qua, Ier\},$$

де Ier – рання ідентифікація та неперервне усунення можливих ризиків;

$$EC_{Web} \cap M_{XP} = \{Cmrt, Par, Fbu, CmsH\},$$

$$IC_{Web} \cap M_{XP} = \{Cig\},$$

де $CmsH$ – постійний зв'язок із зацікавленими сторонами проекту, Cig – неперервна інтеграція;

$$EC_{Web} \cap M_{Waterfall} = \emptyset,$$

$$IC_{Web} \cap M_{Waterfall} = \{Ub\};$$

2) для мобільних додатків:

$$EC_{Mob} \cap M_{SCRUM} = \{Par, Cmrt, Fbu\},$$

$$IC_{Mob} \cap M_{SCRUM} = \{Ia\};$$

$$EC_{Mob} \cap M_{KANBAN} = \{Par, Cmrt, Dv, Fbu, Ds\},$$

$$IC_{Mob} \cap M_{KANBAN} = \{Ds, Po_{Mob}\},$$

де Ds – орієнтація на задачі, $Po_{Mob} = \{Ts, Rt, Om, Pr, Emm, Cts\}$ – оптимізація процесу (Ts – малий час запуску додатка, Rt – малий час відгуку додатку, Om – відносно невеликий обсяг оперативної пам'яті, Pr – висока продуктивність, Emm – високоєфективне керування пам'яттю, Cts – низька складність виконання задач);

$$EC_{Mob} \cap M_{DSDM} = \{Par, Cmrt, Sfr, Fbu, Tac\},$$

$$IC_{Mob} \cap M_{DSDM} = \{Ia, Qua\};$$

$$EC_{Mob} \cap M_{MSF} = \{Par, Fbu, Bpc\},$$

$$\begin{aligned}
IC_{Mob} \cap M_{MSF} &= \emptyset; \\
EC_{Mob} \cap M_{RUP} &= \{Par, Fbu\}, \\
IC_{Mob} \cap M_{RUP} &= \{Qua, Ier\}; \\
EC_{Mob} \cap M_{XP} &= \{Par, Cmrt, Fbu, Cmsb\}, \\
IC_{Mob} \cap M_{XP} &= \{Cig\}; \\
EC_{Mob} \cap M_{Waterfall} &= \emptyset, \\
IC_{Mob} \cap M_{Waterfall} &= \{Ub\};
\end{aligned}$$

3) для програм електронного навчання:

$$\begin{aligned}
EC_{E-learn} \cap M_{SCRUM} &= \{Par, Fbu\}, \\
IC_{E-learn} \cap M_{SCRUM} &= \{Ia\}; \\
EC_{E-learn} \cap M_{KANBAN} &= \{Par, Dv, Fbu\}, \\
IC_{E-learn} \cap M_{KANBAN} &= \{Po_{E-learn}\},
\end{aligned}$$

де $Po_{E-learn} = \{Io, Fio\}$ – оптимізація процесу (Io – висока сумісність як можливість використовувати навчальні об’єкти, розташовані в різних місцях, створені різними інструментами та на різних платформах), Fio – висока функційна сумісність як збереження роботоздатності при використанні різного програмного та апаратного забезпечення);

$$\begin{aligned}
EC_{E-learn} \cap M_{DSDM} &= \{Par, Sfr, Fbu, Tac\}, \\
IC_{E-learn} \cap M_{DSDM} &= \{Ia, Qua\}; \\
EC_{E-learn} \cap M_{MSF} &= \{Par, Fbu, Ucs\}, \\
IC_{E-learn} \cap M_{MSF} &= \emptyset,
\end{aligned}$$

де Ucs – єдине бачення проекту (використання єдиних стандартів);

$$\begin{aligned}
EC_{E-learn} \cap M_{RUP} &= \{Par, Fbu, Cmpa\}, \\
IC_{E-learn} \cap M_{RUP} &= \{Qua, Ier\}; \\
EC_{E-learn} \cap M_{XP} &= \{Par, Fbu, Cmsb\}, \\
IC_{E-learn} \cap M_{XP} &= \{Cig\}; \\
EC_{E-learn} \cap M_{Waterfall} &= \{Hfd\}, \\
IC_{E-learn} \cap M_{Waterfall} &= \{Ub\},
\end{aligned}$$

де Hfd – високий ступінь формалізації;

4) для прикладних програм (для статистики та бухгалтерії):

$$\begin{aligned}
EC_{Appl} \cap M_{SCRUM} &= \{Par, Fbu\}, \\
IC_{Appl} \cap M_{SCRUM} &= \emptyset; \\
EC_{Appl} \cap M_{KANBAN} &= \{Par, Dv, Fbu, Ds\}, \\
IC_{Appl} \cap M_{KANBAN} &= \{Po_{Appl}\},
\end{aligned}$$

де $Po_{Appl} = \{Io, Udf\}$ – оптимізація процесу (Io – висока сумісність (з іншим ПЗ фірми-розробника), Udf – висока уніфікація форматів представлення різних даних);

$$\begin{aligned}
EC_{Appl} \cap M_{DSDM} &= \{Par, Sfr, Fbu, Tac\}, \\
IC_{Appl} \cap M_{DSDM} &= \{Qua\}; \\
EC_{Appl} \cap M_{MSF} &= \{Par, Fbu, Ucs, Bpc\}, \\
IC_{Appl} \cap M_{MSF} &= \{Sb\}; \\
EC_{Appl} \cap M_{RUP} &= \{Par, Fbu, Cmpa\}, \\
IC_{Appl} \cap M_{RUP} &= \{Frr, Qua, Ier\},
\end{aligned}$$

де Frr – концентрація на виконанні вимог замовників (повне покриття потреб предметної галузі, високий ступінь задоволення запитів та потреб користувача);

$$\begin{aligned}
EC_{Appl} \cap M_{XP} &= \{Par, Fbu, Cmsb\}, \\
IC_{Appl} \cap M_{XP} &= \{Cig\}; \\
EC_{Appl} \cap M_{Waterfall} &= \{Hfd\}, \\
IC_{Appl} \cap M_{Waterfall} &= \{Ub\};
\end{aligned}$$

5) для автоматизованих систем:

$$EC_{AS} \cap M_{SCRUM} = \{Par, Fbu\},$$

$$IC_{AS} \cap M_{SCRUM} = \emptyset;$$

$$EC_{AS} \cap M_{KANBAN} = \{Par, Fbu, Ds\},$$

$$IC_{AS} \cap M_{KANBAN} = \{Po_{AS}\},$$

де $Po_{AS} = \{Io, Rm, Em, Scpd\}$ – оптимізація процесу (Io – висока сумісність (організаційна, технічна, програмна, математична, лінгвістична), Rm – висока оперативність керування процесом, Em – висока ефективність керування об'єктом та виробництвом, $Scpd$ – висока швидкість збирання та опрацювання даних);

$$EC_{AS} \cap M_{DSDM} = \{Par, Sfr, Fb, Tac\},$$

$$IC_{AS} \cap M_{DSDM} = \{Qua\};$$

$$EC_{AS} \cap M_{MSF} = \{Par, Fbu, Bpc\},$$

$$IC_{AS} \cap M_{MSF} = \emptyset;$$

$$EC_{AS} \cap M_{RUP} = \{Par, Fbu\},$$

$$IC_{AS} \cap M_{RUP} = \{Qua, Ier\};$$

$$EC_{AS} \cap M_{XP} = \{Par, Fbu, Cms\},$$

$$IC_{AS} \cap M_{XP} = \{Cig\};$$

$$EC_{AS} \cap M_{Waterfall} = \{Hfd\},$$

$$IC_{AS} \cap M_{Waterfall} = \{Ub, Rr, Rss, Sm, Qd\};$$

де Rr – високий ступінь обґрунтованості прийнятих рішень (низькі ризики), Rss – жорстка послідовність проходження етапів (високий рівень контролю), Sm – висока ефективність, простота та зручність керування, Qd – відносно мала кількість рішень;

6) для інформаційних систем:

$$EC_{IS} \cap M_{SCRUM} = \{Par, Fbu, Cmrt\},$$

$$IC_{IS} \cap M_{SCRUM} = \emptyset;$$

$$EC_{IS} \cap M_{KANBAN} = \{Par, Fbu, Cmrt\},$$

$$IC_{IS} \cap M_{KANBAN} = \{Po_{IS}\},$$

де $Po_{IS} = \{Scpd, Dm, Efip\}$ – оптимізація процесу ($Scpd$ – висока швидкість збирання та опрацювання даних (швидкодія), Dm – висока динамічність (зміна структури та станів елементів в часі), $Efip$ – висока ефективність опрацювання інформації);

$$EC_{IS} \cap M_{DSDM} = \{Par, Sfr, Fbu, Cmrt, Tac\},$$

$$IC_{IS} \cap M_{DSDM} = \{Qua\};$$

$$EC_{IS} \cap M_{MSF} = \{Par, Fbu, Bpc\},$$

$$IC_{IS} \cap M_{MSF} = \emptyset;$$

$$EC_{IS} \cap M_{RUP} = \{Par, Fbu\},$$

$$IC_{IS} \cap M_{RUP} = \{Qua, Frr, Ier\};$$

$$EC_{IS} \cap M_{XP} = \{Par, Fbu, Cco, Cmrt, Cms\},$$

$$IC_{IS} \cap M_{XP} = \{Cig\};$$

де Cco – колективне володіння кодом, можливість колективного доступу;

$$EC_{IS} \cap M_{Waterfall} = \emptyset,$$

$$IC_{IS} \cap M_{Waterfall} = \{Ub\}.$$

Враховуючи виконане моделювання для описаних у [3] типів ПЗ та методологій, сформулюємо наступні висновки:

- 1) для Web-додатків найбільш підходящою є методологія DSDM, а найменш підходящою є каскадна (Waterfall) методологія;
- 2) для мобільних додатків найбільш підходящими є методології DSDM та KANBAN, а найменш підходящою є каскадна (Waterfall) методологія;
- 3) для програм електронного навчання найбільш підходящою є методологія DSDM, а найменш підходящою є каскадна (Waterfall) методологія;
- 4) для прикладних програм найбільш підходящою є методологія RUP, а найменш підходящою є каскадна (Waterfall) методологія;
- 5) для автоматизованих систем найбільш підходящою є методологія каскадна (Waterfall)

методологія, а найменш підходящою є методологія Scrum;

6) для інформаційних систем найбільш підходящими є методології DSDM та XP, а найменш підходящою є каскадна (Waterfall) методологія.

Таке моделювання не є абсолютно ефективним, оскільки воно не враховує важливість характеристик для ПЗ різних типів; крім цього, не враховує також протилежності деяких характеристик – наприклад, *Par* – можливість внесення змін до вимог протягом всього життєвого циклу проекту (висока гнучкість), а *Npar* – відсутня можливість внесення змін до вимог протягом життєвого циклу проекту (низька гнучкість).

Висновки

Від вибору методології розроблення ПЗ залежить успішність реалізації програмного проекту різних типів та розмірів. При виборі методології розроблення ПЗ зараз не враховується тип та цільове призначення програмного проекту, хоча кожна категорія проектів має різні пріоритети і цілі, тому важливою і актуальною є задача вибору методології розроблення для програмного забезпечення конкретного типу.

У статті було проведено моделювання процесу вибору методології розроблення програмного забезпечення для програмних проектів різних типів шляхом порівняння раніше визначених основних характеристик різних типів ПЗ (Web-додатків, мобільних додатків, програм електронного навчання, прикладних програм (для статистики та бухгалтерії), автоматизованих систем та інформаційних систем) і основних принципів сучасних методологій розроблення ПЗ (SCRUM, KANBAN, DSDM, MSF, RUP, XP, Waterfall).

Виконане моделювання дало можливість зробити висновки щодо найбільш та найменш підходящих методологій розроблення для ПЗ різних типів. Але моделювання не є абсолютно ефективним, оскільки воно не враховує важливість певних характеристик для ПЗ різних типів та ключових принципів для методологій; крім цього, не враховує також протилежності деяких характеристик – наприклад, *Par* - можливість внесення змін до вимог протягом всього життєвого циклу проекту (висока гнучкість), а *Npar* - відсутня можливість внесення змін до вимог протягом життєвого циклу проекту (низька гнучкість).

Тому перспективою для подальших досліджень авторів є:

- 1) визначення вагових коефіцієнтів характеристик ПЗ та ключових принципів методологій;
- 2) розроблення методу вибору ефективної методології розроблення для ПЗ різних типів;
- 3) розроблення інформаційної технології вибору ефективної методології розроблення для ПЗ різних типів.

На вирішення поставлених задач і будуть спрямовуватись подальші зусилля авторів.

Література

1. Standish Group 2015 Chaos Report. URL : <http://www.infoq.com/articles/standish-chaos-2015> - 15.02.2016
2. Коберн А. Быстрая разработка программного обеспечения / А. Коберн. – М. : Лори, 2002. – 314 с.
3. Малярчук Р. Множинні представлення типів та методологій розроблення програмного забезпечення / Р. Малярчук // Радіoeлектронні і комп'ютерні системи. – Харків : НАУ "ХАІ", 2016. – № 5 (79). – С. 70-77.
4. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). System and software quality models. Revises ISO/IEC 9126-1:2001: introduced 01.03.2011. – ISO/IEC, 2011. – 34 p.

Рецензія/Peer review : 1.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 15.12.2016 р.

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТА КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ ЦИФРОВОЇ РАДІОРЕЛЕЙНОЇ СТАНЦІЇ

Стаття присвячена дослідженню ефективності застосування алгоритмічного забезпечення інформаційно-вимірювальної та керуючої системи цифрової радіорелейної станції. Оцінка показників ефективності проведена за результатами імітації роботи алгоритмічного забезпечення інформаційно-вимірювальної та керуючої системи каналами передачі даних цифрової радіорелейної станції, яка виконує розпізнавання ситуації сигнально-завадової обстановки.

Ключові слова: цифрова радіорелейна станція, канал передачі даних, сигнально-завадова обстановка, імітаційна завада, розпізнавання ситуацій, інформаційно-вимірювальна та керуюча система.

D.A. MAKARYSHKIN, L.O. KOVTUN, O.G. ONYSHKO

Khmelnitsky National University

INVESTIGATION OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF ALGORITHMIC PROVIDING OF INFORMATIVELY-MEASURING AND MANAGING SYSTEM OF THE DIGITAL RADIO-RELAY STATIONS

The article investigates the efficacy of algorithmic support information-measuring and control system of digital microwave stations. Performance evaluation conducted by the results of simulation software algorithmic information measurement and control system data transmission channels of digital radio-relay station that performs signal detection situation-interference environment.

Keywords: digital radio-relay station, channel of data, signal-hindrances situation, imitating hindrance, recognition of situations, informatively-measuring and managing system.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Функціонування об'єктів промисловості (магістральні трубопроводи нафти, газу, нафтопродуктів; гідротехнічні споруди), комерційних організацій банки, корпорації і інших об'єктів структур забезпечення життєдіяльності в сучасних умовах нерозривно пов'язані з використанням власних радіотехнічних систем для передачі даних між філіями, з метою забезпечення безпеки передачі даних. Для цього найчастіше використовуються радіорелейні лінії зв'язку, побудовані на основі цифрових радіорелейних станцій (ЦРПС). Важливість даних що передаються можуть викликати інтерес з боку третіх осіб, які зацікавлені в отриманні цих даних незаконним шляхом [1, 2].

Розвиток і масштабне поширення радіотехнічних систем передачі даних поклало початок розробці нових методів втручання в радіоелектронну систему. Ці методи засновані на застосуванні організованих у тому числі імітаційних систем, для створення завад що дозволяє здійснювати втручання в роботу системи і порушувати нормальне функціонування радіотехнічних систем на інформаційному рівні. Створювати передачу неправдивої інформації від імені істинного кореспондента. Дія імітаційних завад тягне за собою великі інформаційні та матеріальні втрати. До того ж, дані які передають з допомогою станції завад можуть бути використані для навмисного створення імітаційних завад в певних каналах передачі даних ЦРПС [1–4].

Основну складність у забезпеченні систем захисту мають ЦРПС стаціонарних об'єктів розповсюдженої структури, на таких об'єктах як магістральні трубопроводи (газопроводи, нафтопроводи та нафтопродуктопроводи). Дані системи мають найбільшу схильність до дії на них імітаційних системних завад малоканалних радіостанцій частотного діапазону 394–410/434–450 МГц. Вони найменш технічно складні, але найбільш широко застосовуються першими у колі передачі технічної інформації. Найбільшого поширення набули ЦРПС «Азид-5», «МІК-РЛ400ХХ», «Р-6 / Е1», «Азид-НС». Перераховані ЦРПС використовують сигнали квадратурної фазової модуляції QPSK (Quadrature PhaseShift Keying). Робота ЦРПС в умовах дії завад здійснюється за допомогою інформаційно-вимірювальної і керуючої системи (ІВКС) з відповідним алгоритмічним забезпеченням.

Тому до ЦРПС ставляться наступні вимоги: необхідність створення завадозахищених каналів передачі даних між віддаленими стаціонарними об'єктами; стаціонарність об'єктів їх ліній передачі, за відомими географічними координатами; можливість накопичення третіми особами інформації про використання обладнання, структуру сигналів і передачу даних; вразливість каналів передачі даних дією організованих завад; зниження ймовірності небезпеки впливу на канали передачі даних імітаційних завад; необхідність забезпечення завадостійкості каналів передачі даних на необхідному рівні.

Для захисту від дії імітаційних завад необхідно підвищувати завадостійкість ЦРПС на каналному рівні передачі даних за рахунок своєчасного розпізнавання діючої сигнально-завадової обстановки (СЗО) при її зміні з подальшим керуванням роботою каналів передачі даних, що виключає приймання помилкових даних. Дана особливість має бути врахована в алгоритмічному забезпеченні ЦРПС [5–8].

У роботах Ю.М. Брауде-Золотарьова, С.І. Макаренко, І.М. Орошука, Є.І. Петрова та інших авторів пропонуються методи розпізнавання дії імітаційних завад із залученням відомостей неінформаційної складової сигналу, але всі вони мають недоліки, що обмежують ефективність розпізнавання, пов'язані з застосуванням науково-методичних апаратів.

Для вирішення завдання захисту від навмисно створюваних завад і розпізнавання СЗО каналу передачі даних традиційно використовуються вибірки за контролюючими інформаційними параметрами сигналу, які подаються у вигляді тимчасового ряду. Але на практиці даної інформації для ефективного фіксування ситуації при СЗО часто виявляється недостатньо і затримки для виявлення змін в сигналі при ситуації СЗО стають занадто великими.

Існуючий науково-методичний апарат для розпізнавання впливу сигнально-завадової обстановки на канал передачі даних, заснований на теорії радіозв'язку, теорії завадостійкості, теорії послідовних рішень (метод кумулятивних сум, метод узагальненого відношення правдоподібності, метод ковзного середнього), теорії керованих експериментів, теорії систем з випадкової зміни структури, практично досяг своїх потенційних можливостей, але не дозволяє повною мірою забезпечити необхідну стійкість до дії імітаційних завад. Для підвищення завадостійкості каналів передачі даних необхідна модернізація методів розпізнавання при ситуації СЗО, яка спрямована на скорочення затримки виявлення її зміни. Тому пошук шляхів скорочення часу виявлення зміни при ситуації СЗО є актуальною науковою задачею [7–9].

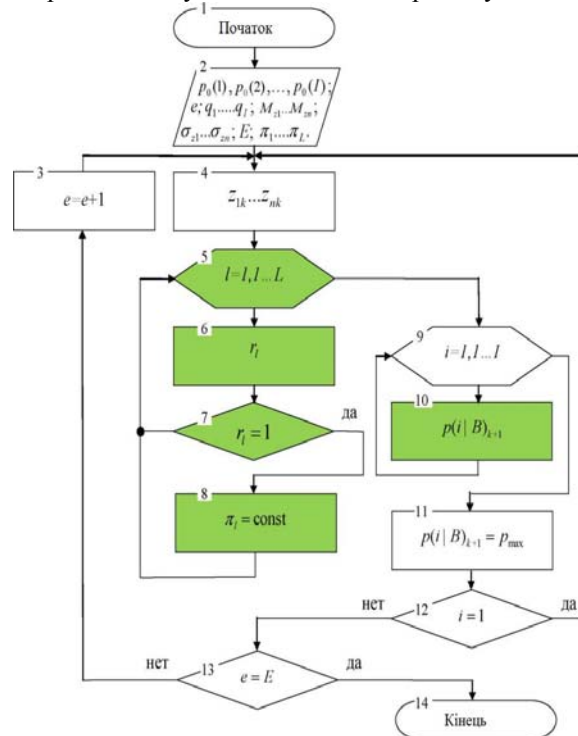


Рис. 1. Алгоритм розпізнавання СЗО

(ВП) і керуючу (КП). Структурна схема інформаційно-вимірювальної і керуючої системи представлена на рис. 1.

Ядром цих підсистем є бази пам'яті і бази даних. Бази пам'яті містять необхідний об'єм апіорної і апостеріорної інформації для розпізнавання ситуації СЗО і керування каналами передачі. Бази даних зберігають у собі покази вимірювачів, індикаторів, стан каналів передачі даних, керуючі впливи на попередніх кроках розрахунку.

Вимірювальна підсистема складається з первинних вимірювачів параметрів сигналу, індикаторів супутніх ознак, бази пам'яті, бази даних та модуля розрахунку ситуацій СЗО. Керуюча підсистема включає до свого складу модуль оцінювання ситуацій СЗО та ідентифікації структури каналу передачі даних, базу пам'яті, базу даних, модуль керування каналами передачі даних ЦРРС [3, 8, 9].

Для взаємодії із користувачами ІВКС має відповідний інтерфейс. На вхід вимірювальної підсистеми надходить сигнальна сукупність каналу передачі даних і оброблений низькочастотний (НЧ) сигнал прийнятий цифровою радіорелейною станцією.

Первинними вимірювачами здійснюється вимірювання інформаційних та неінформаційних

Для підвищення завадостійкості ЦРРС на рівні каналів передачі даних потрібна розробка алгоритму, який реалізує модернізований метод із заявленими перевагами, що забезпечує підвищення швидкодії виявлення ознак впливу імітаційних завад в прийнятому сигналі та оцінку ситуації в поточний момент часу ситуації СЗО. Блок-схема алгоритму, який реалізує оцінку ймовірностей ситуації СЗО (розпізнавання СЗО) та керування каналами передачі, представлена на рис. 1.

Ефективне вирішення завдань керування в інформаційних системах у теперішній час є нереалізованим без залучення засобів обчислювальної техніки та автоматизованих інформаційно-вимірювальних і керуючих систем (ІВКС), оскільки вимоги по швидкодії обробки інформації та достовірності отриманої інформації постійно підвищуються. Особливо високі вимоги пред'являються до інформаційно-вимірювальних і керуючих систем каналами передачі даних цифрових радіорелейних станцій, задача яких полягає у своєчасному розпізнаванні зміни ситуації СЗО, яка обумовлена дією імітаційних завад у відповідному каналі передачі.

Запропонована ІВКС каналами передачі даних включає до свого складу дві підсистеми: вимірювальну

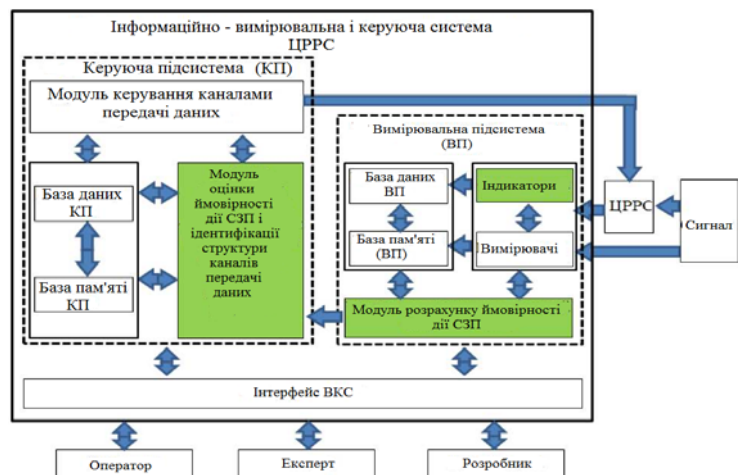


Рис. 2. Структурна схема інформаційно-вимірювальної та керуючої системи ЦРРС

параметрів, прийнятої сигнальної сукупності і НЧ – сигналу ЦРПС. Інформація вимірювачів та індикаторів відображається на предмет наявності супутніх ознак, після чого вона заноситься в базу даних ВП для формування апіорних відомостей на наступних кроках розрахунку і одночасно надходить на модуль розрахунку ймовірностей ситуацій СЗО. База пам'яті ВП зберігає в собі відомості про математичне сподівання, середньоквадратичне відхилення параметрів, які спостерігаються, а також про вагові значення індикаторів супутніх ознак для всіх СЗО.

Розраховані значення ймовірностей ситуацій СЗО передається в керуючу підсистему, де у модулі оцінювання ситуацій СЗО та ідентифікації структури каналу передачі даних здійснюється оцінювання ймовірностей. В якості діючої приймається ситуація СЗО, яка має максимальну ймовірність. Залежно від приналежності цієї ситуації до заводових або без заводових ситуацій, ідентифікується діюча структура каналу передачі даних. Інформація про діючі ситуації СЗО розміщується у базу даних КП. База пам'яті КП зберігає у собі інформацію про сигнально-заводові ситуації та ідентифіковані структури, апіорні та апостеріорні відомості про ситуації СЗО, поточної структури каналу передачі даних [3, 8, 9].

Дослідження ефективності алгоритмічного забезпечення ІВКС. Аналіз ефективності алгоритмічного забезпечення було запропоновано проводити методами імітаційного моделювання. При моделюванні алгоритмічного забезпечення ІВКС каналами передачі вихідні дані можуть бути представлені у вигляді вибірок, які спостерігаються у параметрах сигналу на виході антенного тракту приймача каналу передачі даних. Виходячи з фізичних процесів взаємодії сигналу і заводів в каналі передачі даних, в якості параметрів сигналу для розпізнавання ситуації СЗО, обрані наступні: рівень сигналу; рівень зміни амплітуди сигналу; зсув фази; наявність сигналів на субчастоті; коефіцієнт бітових помилок BER; рівень адаптивного шуму.

Перераховані параметри підлягають вимірюванню та індикації на предмет наявності ознак, супутніх зміні ситуації СЗО, за винятком наявності сигналів на субчастотах, який є тільки діагностуючою ознакою. Індикатори ознак, що супутні зміні ситуації СЗО, мають певний поріг спрацьовування. Дані номінали, в залежності від складних дій СЗО, для кожної ознаки наведені у таблиці 1. Таблиця 1 складена на основі відомостей, отриманих з технічної документації, наданої виробником використовуваних ЦРПС [3, 8, 9].

Відповідно до алгоритму розпізнавання ситуації СЗО, вихідними даними також є [3, 8, 9]:

- апіорні ймовірності дій СЗО $p_0(1) = \text{const1}$, $p_0(2) = \text{const2}$, ..., $p_0(2) = \text{const2}$.
- інтенсивності переходів $q_1...q_2$ в ситуацію i ;
- $M_{z1}...M_{zn}$ – математичні сподівання z_n ;
- $\sigma_{z1}...\sigma_{zn}$ – середнє квадратичне відхилення z_n ;
- $\pi_1...\pi_L$ – вагові значення індикаторів супутніх ознак π_1 ;

Всі вони призначаються експертом на підставі апіорних даних і можуть корегуватись при необхідності.

Для сигналів з QPSK-модуляцією були отримані:

- апіорні ймовірності ситуації СЗО: $p_0(1) = 0,1503$; $p_0(2) = 0,233$; $p_0(3) = 0,313$; $p_0(4) = 0,341$; $p_0(5) = 0,482$; $p_0(6) = 0,261$; $p_0(7) = 0,387$.
- інтенсивності переходів у ситуацію i :
 $q_1 = 0,586$, $q_2 = 0,926$, $q_3 = 1,205$, $q_4 = 1,059$, $q_5 = 1,457$, $q_6 = 0,996$, $q_7 = 1,414$.
- вагові значення індикаторів супутніх ознак:
 $\pi_1(i_{k+1} | j_1 p_{r1} r_{1k} = 1) = 1,431$; $\pi_2(i_{k+2} | j_2 p_{r2} r_{2k} = 1) = 1,21$; $\pi_3(i_{k+3} | j_3 p_{r3} r_{3k} = 1) = 1,193$;
 $\pi_4(i_{k+4} | j_4 p_{r4} r_{4k} = 1) = 1,22$; $\pi_5(i_{k+5} | j_5 p_{r5} r_{5k} = 1) = 1,29$; $\pi_6(i_{k+6} | j_6 p_{r6} r_{6k} = 1) = 1,33$.

Ефективність алгоритмічного забезпечення оцінюється за допомогою критеріїв ефективності. За змістом розв'язуваної задачі визначальними критеріями є: мінімум часу розпізнавання зміни ситуації СЗО (далі швидкодія) і максимум ймовірності вірного прийняття рішення алгоритмом (далі достовірність). Отже, у якості показника достовірності розглядається рівень апостеріорної ймовірності прийняття правильного рішення, а в якості відображення швидкодії – час з моменту початку дії заводів до прийняття рішення про зміну ситуації СЗО ІВКС з розробленим алгоритмічним забезпеченням при розпізнаванні ситуації СЗО. Зазначені показники визначаються шляхом підрахунку по 100 дослідам для кожної ситуації СЗО.

Для оцінювання ефективності алгоритму розпізнавання ситуації СЗО каналу передачі даних, необхідно, щоб дослідженню піддавалися всі можливі ситуації і комбінаційні їх зміни. Відповідно обсяг вибірки параметрів сигналу з виходу антенного тракту приймача каналу передачі даних повинен забезпечувати необхідну репрезентативність для дослідження. При дослідженні вважалося, що для розпізнавання ситуації СЗО та її зміни необхідним і достатнім є залучення вибірок параметрів сигналу для кожної ситуації СЗО обсягом не менше десяти кроків рахунку.

Як було показано вище безперервні сигнали на виході антени приймача каналу передачі даних, піддаючись цифровій обробці, перетворюються в послідовність відліку. Крок рахунку – це інтервал часу, за який проводиться розпізнавання ситуації СЗО. Виходячи з того, що на передачу одного символу в пакеті повідомлення за технічними характеристиками розглянутих ЦРПС відводиться $0,4882 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 0,4882 \text{ мкс}$,

то і дискретність кроків відліку при розпізнаванні ситуації СЗО слід обирати кратною цій величині. В залежності від необхідності значення кроків відліку можуть змінюватися. У даній роботі кроки розрахунку обрано тільки з дискретністю 0,4882 мкс. Це дозволило досягти максимальної швидкодії в розпізнаванні зміни ситуації СЗО при використанні інформації спостережуваних параметрів сигналу за винятком коефіцієнта бітових помилок BER, інформація про який може бути отримана тільки після прийому пакету повідомлення.

Таблиця 1

Номінальні значення порогів спрацьовування індикаторів ознак, супутніх ситуації СЗО

Подія i \ Індикатори r_i	Високий рівень сигналу $r1$, дБм	Високий рівень зміни амплітуди сигналу $r2$, дБм	Великий фазовий зсув $r3$, град	Наявність сигналів на субчастоті $r4$	Великий коефіцієнт бітових помилок BER $r5$	Високий рівень адаптивного шуму $r6$, дБ
1. Без завади	<-43	<-90	<20	-	<10 ⁻⁶	<-23
2. Імітаційна завада на субчастоті	<-43	>-90	<20	+	<10 ⁻⁶	<-23
3. Імітаційна завада на субчастоті з шумом високої інтенсивності	<-43	>-90	<20	+	<10 ⁻⁶	>-23
4. Імітаційна завада, перевершує за рівнем корисний сигнал	>-43	<-90	>20	-	<10 ⁻⁶	<-23
5. Імітаційна завада, перевершує за рівнем корисний сигнал з шумом високої інтенсивності	>-43	<-90	>20	-	<10 ⁻⁶	>-23
6. Імітаційна завада на частоті, перевершує за рівнем корисний сигнал	>-43	>-90	>	+	>10 ⁻⁶	<-23
7. Імітаційна завада на частоті, перевершує за рівнем корисний сигнал з шумом високої інтенсивності	>-43	>-90	>20	+	>10 ⁻⁶	>-23

Програма моделювання реалізує розрахунок ймовірностей ситуацій за вихідними даними. Відповідно до обраних для розпізнавання параметрів сигналу на виході антенного тракту формула прийме вигляд:

$$\begin{aligned}
 p(i|B)_{k+1} = & p_0(i) q_i \cdot \pi_1 \cdot \pi_2 \cdot \pi_3 \cdot \pi_4 \cdot \pi_5 \cdot \pi_6 \cdot \exp\left(-\frac{(z_A - M_A)^2}{2\sigma_{A,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{\Delta A} - M_{\Delta A})^2}{2\sigma_{\Delta A,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_\varphi - M_{\varphi i})^2}{2\sigma_{\varphi,i}^2}\right) \cdot \\
 & \exp\left(-\frac{(z_{ber} - M_{ber,i})^2}{2\sigma_{ber,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{ш} - M_{ш,i})^2}{2\sigma_{ш,i}^2}\right) / \sum_0^1 p_0(i) q_i \cdot \pi_1 \cdot \pi_2 \cdot \pi_3 \cdot \pi_4 \cdot \pi_5 \cdot \pi_6 \cdot \exp\left(-\frac{(z_A - M_A)^2}{2\sigma_{A,i}^2}\right) \cdot \\
 & \cdot \exp\left(-\frac{(z_{\Delta A} - M_{\Delta A})^2}{2\sigma_{\Delta A,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_\varphi - M_{\varphi i})^2}{2\sigma_{\varphi,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{ber} - M_{ber,i})^2}{2\sigma_{ber,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{ш} - M_{ш,i})^2}{2\sigma_{ш,i}^2}\right) \quad (1)
 \end{aligned}$$

де B – подія, що полягає в тому, що на $(k+1)$ -му кроці рахунку діє імітаційна завада; $p_0(i)$ – апіорні ймовірності ситуації СЗО i ; q_i – інтенсивності переходів в ситуації i ; $\pi_1 \dots \pi_6$ – індикатори супутніх ознак; $z_A, z_{\Delta A}, z_\varphi, z_{ber}, z_{ш}$ – вимірювані параметри сигналу (фазові координати), z_A – амплітуда сигналу, $z_{\Delta A}$ – зміна амплітуди сигналу, z_φ – фаза сигналу z_{ber} – коефіцієнт бітових помилок, $z_{ш}$ – рівень шуму; $M_A, M_{\Delta A}, M_\varphi, M_{ber}, M_{ш}$ – математичні сподівання спостережуваних фазових координат; $\sigma_{A,i}^2, \sigma_{\Delta A,i}^2, \sigma_{\varphi,i}^2, \sigma_{ber,i}^2, \sigma_{ш,i}^2$ – середньоквадратичні відхилення фазових координат.

$$\begin{aligned}
 p(i|B)_{k+1} = & p_0(i)q_i \cdot \exp\left(-\frac{(z_A - M_A)}{2\sigma_{A,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{\Delta A} - M_{\Delta A})}{2\sigma_{\Delta A,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{\varphi} - M_{\varphi i})}{2\sigma_{\varphi,i}^2}\right) \cdot \\
 & \exp\left(-\frac{(z_{ber} - M_{ber,i})}{2\sigma_{ber,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{uu} - M_{uu,i})}{2\sigma_{uu,i}^2}\right) / \sum_0^1 p_0(i)q_i \cdot \exp\left(-\frac{(z_A - M_A)}{2\sigma_{A,i}^2}\right) \cdot \\
 & \cdot \exp\left(-\frac{(z_{\Delta A} - M_{\Delta A})}{2\sigma_{\Delta A,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{\varphi} - M_{\varphi i})}{2\sigma_{\varphi,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{ber} - M_{ber,i})}{2\sigma_{ber,i}^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(z_{uu} - M_{uu,i})}{2\sigma_{uu,i}^2}\right)
 \end{aligned} \quad (2)$$

Відмінність цих формул полягає у використанні інформації індикаторів супутніх ознак в модернізованому алгоритмі.

Формула (1) являє собою загальний вираз для розпізнавання ймовірностей ситуації СЗО. Вагові значення супутніх ознак $\pi_1 \dots \pi_2$ враховуються у формулі тільки при спрацюванні відповідного індикатора.

Ефективність алгоритмічного забезпечення ІВКС каналами передачі даних по швидкодії буде визначатися часом, витраченим на виявлення дії імітаційних завад, тобто часом з моменту початку дії завад до моменту виявлення зміни ситуації СЗО.

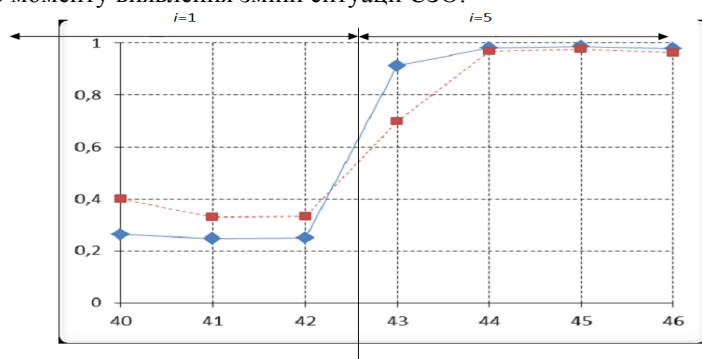


Рис. 3. Графіки ймовірностей при зміні ситуації сигнально-завадової обстановки (з 4-ї по 5-у), які отримані з використанням розробленого (суцільна лінія) та базового (штрихова лінія) алгоритмів

Правильність прийняття рішення про дію СЗО буде визначатися рівнем ймовірності ситуації СЗО. На рис. 5–11 представлені графіки ймовірностей при зміні ситуації СЗО отримані з використанням розробленого (суцільна лінія) і базового (пунктирна лінія) алгоритмів дій СЗО. Графік зміни дій СЗО представлений на рис. 4.

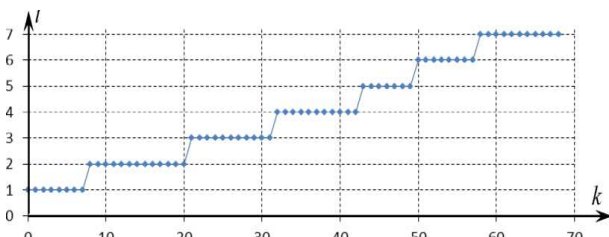


Рис. 4. Графік зміни ситуації СЗО

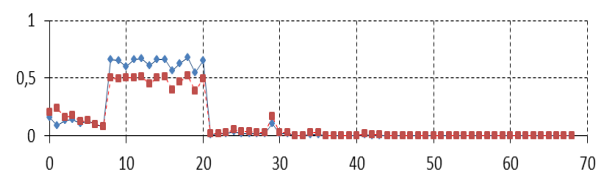


Рис. 6. Графік зміни при другій ситуації СЗО

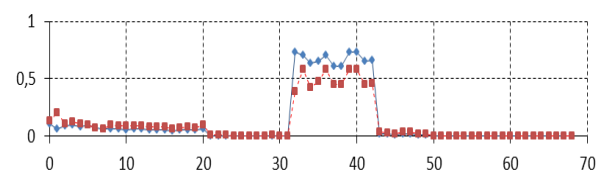


Рис. 8. Графік зміни при четвертій ситуації СЗО

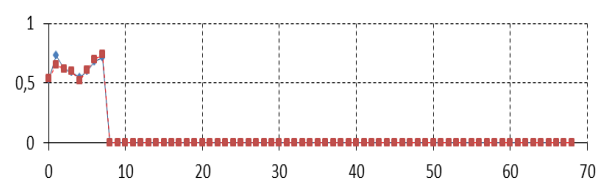


Рис. 5. Графік зміни при першій ситуації СЗО

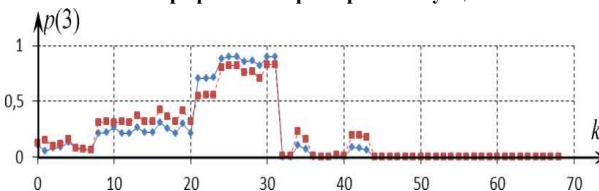


Рис. 7. Графік зміни при третій ситуації СЗО

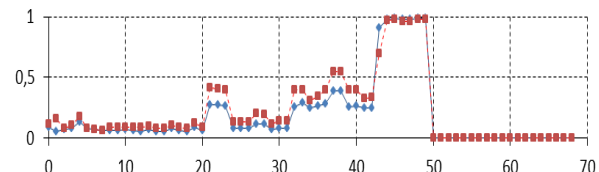


Рис. 9. Графік зміни при п'ятій ситуації СЗО

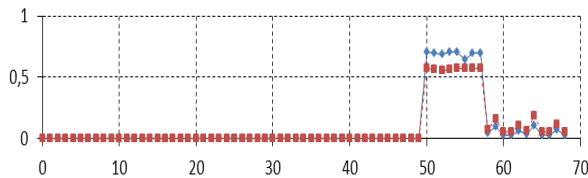


Рис. 10. Графік зміни при шостій ситуації СЗО

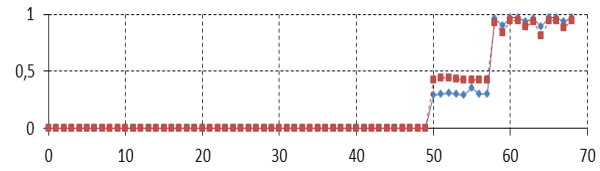


Рис. 11. Графік зміни при сьомій ситуації СЗО

В цілому, за результатами дослідження рівнів ймовірностей правильного прийняття рішення алгоритмами розпізнавання можна зробити висновок про перевагу рівнів ймовірностей, отриманих за допомогою модернізованого алгоритму на 4,9-28,7%, а в середньому на 12,5%, що й підтверджується графіками.

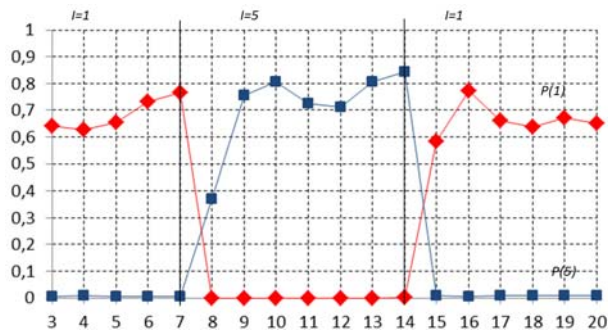
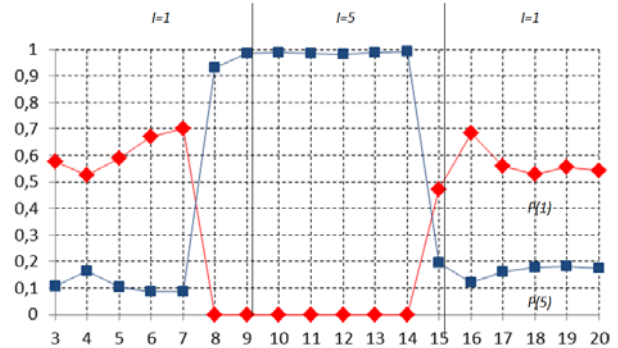
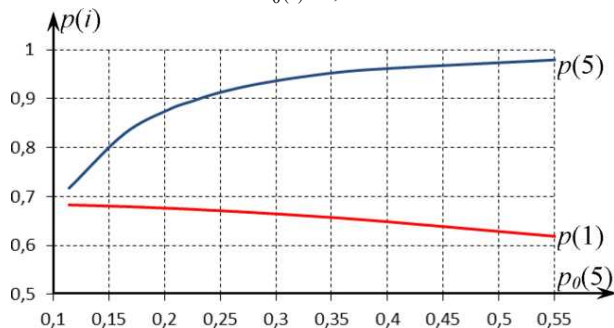
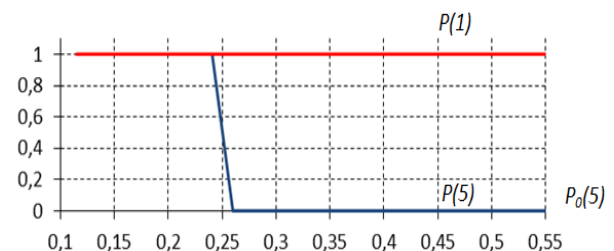
Алгоритмічне забезпечення ІВКС каналами передачі даних, згідно формули (1), дозволяє виробляти прогноз про ситуації СЗО на $k + 1$ кроці за інформацією на k -му кроці відліку і апіорними даними. Апіорними даними, що дозволяють робити прогноз, є апіорна ймовірність ситуації СЗО $p_0(i)$ і інтенсивності переходів ситуацій q_i . Ефективність алгоритмічного забезпечення буде визначатися відповідністю апіорних даних ситуації СЗО.

Апіорні дані при розпізнаванні ситуації СЗО слід формувати по вибірках найбільш небезпечних і ймовірних завад ситуацій, з метою підвищення ефективності алгоритмічного забезпечення ІВКС каналами передачі даних при їх дії. Зворотною стороною такого варіанту формування апіорних даних буде погіршення показників ефективності при зміні ситуації завадової СЗО на СЗО без завад, що має менший пріоритет і цілком виправдано.

Найбільш небезпечною і ймовірною слід вважати п'яту дію СЗО, при якій діє імітаційна завада, яка перевищує за рівнем корисний сигнал з шумом високої інтенсивності.

Для оцінки впливу невідповідності апіорної ймовірності ситуації СЗО $p_0(i)$ та інтенсивності переходу ситуації q_i проведено дослідження. Показано залежність рівня ймовірності та швидкодії зміни ймовірності при зміні ситуацій з першої (без завад) на п'яту (з завадою) і з п'ятої на першу від зміни значення апіорної ймовірності ситуації.

Графіки, що ілюструють дані таблиці 2 представлені на рис. 12–15.

Рис. 12. Графік ймовірностей ситуації СЗО при $P_0(5) = 0,114$ Рис. 13. Графік ймовірностей ситуації СЗО при $P_0(5) = 0,5518$ Рис. 14. Графік залежності ймовірностей ситуації СЗО від зміни $P_0(5)$ Рис. 15. Залежності швидкодії зміни ймовірностей ситуації СЗО від зміни P_0

На наступному етапі, змінюючи значення інтенсивності переходу ситуації, проаналізовано зміна рівня ймовірності та швидкість зміни ймовірності при зміні ситуацій з першої (без завади) на п'яту (із завадою) і з п'ятої на першу (табл. 3)

Таблиця 2

**Оцінка показників ефективності при невідповідності
апріорної ймовірності найбільш вірогідною ситуації СЗО**

№ Дослід	Апріорна ймовірність 5 ситуації $p_0(5)$	Ймовірність 5 ситуації $p(5)$	Ймовірність 1 ситуації $p(1)$	Швидкодію розпізнавання ситуації 5, k	Швидкодію розпізнавання ситуації 1, k
1	0,1144	0,717104	0,682893	1	1
2	0,1641	0,82865	0,679511	1	1
3	0,2041	0,877915	0,675951	1	1
4	0,22548	0,895202	0,6739	1	1
5	0,241	0,907199	0,672028	1	1
6	0,26	0,91846	0,669777	0	1
7	0,2841	0,930103	0,666701	0	1
8	0,3241	0,944703	0,661074	0	1
9	0,3841	0,959452	0,651481	0	1
10	0,55184	0,97955	0,618446	0	1

Таблиця 3

**Оцінка показників ефективності при невідповідності
інтенсивності переходу в найбільш ймовірну дію СЗО**

№ Дослід	Інтенсивність переходу в 5 ситуацію q_5	Ймовірність 5 ситуації $p(5)$	Ймовірність 1 ситуації $p(1)$	Швидкодію розпізнавання ситуації 5, k	Швидкодію розпізнавання ситуації 1, k
1	0,09	0,733294	0,682586	1	1
2	0,15	0,812808	0,68025	1	1
3	0,201	0,849755	0,678277	1	1
4	0,31	0,893727	0,674101	1	1
5	0,402	0,91458	0,670619	1	1
6	0,49	0,928019	0,667323	0	1
7	0,7201	0,948931	0,658867	0	1
8	0,9	0,958362	0,652411	0	1
9	1,12	0,966024	0,644695	0	1
10	1,72	0,977368	0,624597	0	1

Графіки, що ілюструють дані з таблиці 3, представлені на рис. 16–19.

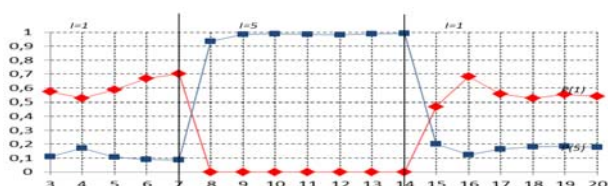


Рис. 16. Графіки ймовірностей ситуацій ситуації СЗО при $P_5=0,1144$

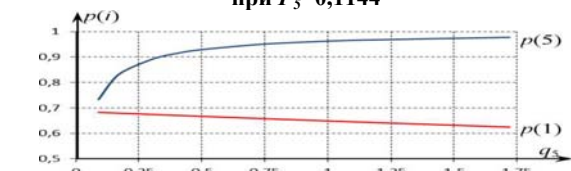


Рис. 18. Графік залежності ймовірностей ситуації СЗО від зміни P_5

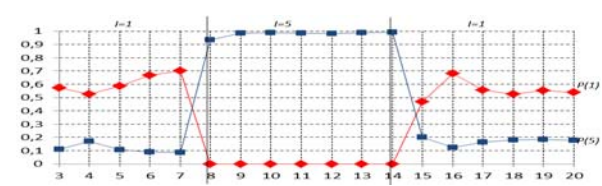


Рис. 17. Графік ймовірностей ситуацій СЗО при $P_5=1,72$

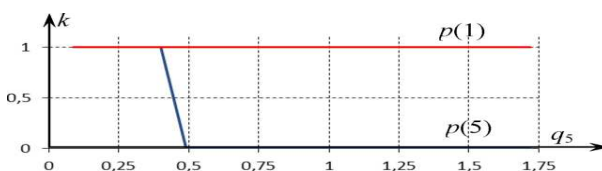


Рис. 19. Графік залежності швидкодії зміни ймовірностей ситуації СЗО від зміни P_5

Таким чином, при формуванні апріорних даних слід прагнути до досягненню балансу, що забезпечує прийнятні показники критеріїв ефективності при зміні ситуацій СЗО без завади на СЗО із завадою і навпаки.

Оскільки, апріорні ймовірності та інтенсивності переходів є постійно присутніми у формулі, тоді при малих відхиленнях значень параметрів відносно математичного сподівання у формулах (1), (2) та малих номіналах апріорних даних буде відбуватися зменшення рівня ймовірності, навіть у тому випадку, коли ймовірність ситуації є максимальною із групи несумісних подій. При великих відхиленнях значень параметрів відносно математичного сподівання і великих номіналах апріорних даних буде відбуватися збільшення рівня ймовірності, навіть у тому випадку, якщо ймовірність ситуації є мінімальною із групи несумісних подій. Аналогічно апріорні дані впливають і на швидкодію зміни ймовірності ситуації при зміні СЗО.

Алгоритмічне забезпечення ІВКС каналами передачі даних ЦРРС, відповідно до формули (1), дозволяє використовувати інформацію індикаторів супутніх ознак для більш ефективного розпізнавання ситуацій СЗО. Значення вагових коефіцієнтів індикаторів супутніх ознак, що враховуються при розрахунку апостеріорних ймовірностей, підвищують ймовірності відповідних ситуацій при появі діагностичних ознак в прийнятому сигналі. Для коректності роботи алгоритму вагові значення коефіцієнтів повинні бути підібрані з одного числового діапазону, бути адекватними небезпеці відповідної СЗО, надавати помірний вплив на ймовірність ситуації при помилковому спрацюванні.

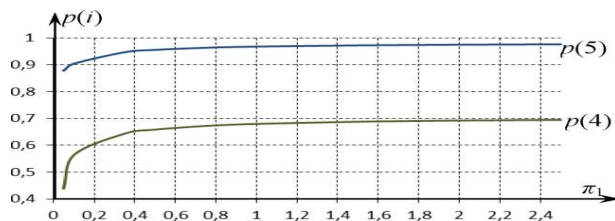
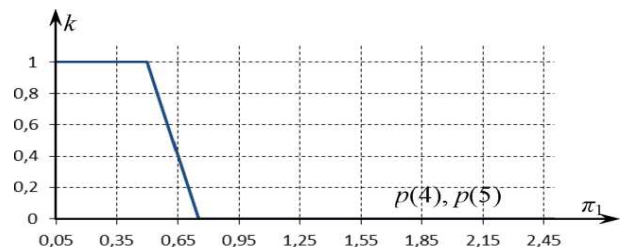
Для підбору збалансованих значень вагових коефіцієнтів індикаторів супутніх ознак необхідно проведення досліджень. Найбільш значущими ознаками є рівень сигналу по потужності і рівень шуму, індикація яких необхідна для розпізнавання найбільш вірогідних завад ситуації. У таблиці 4 представлені результати дослідження впливу значення індикатора рівня сигналу по потужності π_1 на ймовірності четвертої $p(4)$ і п'ятої $p(5)$ ситуацій.

Таблиця 4

Зміна ймовірностей ситуацій $p(4)$ і $p(5)$ від значень індикатора «рівень сигналу» π_1

№ Дослідду	Значення коефіцієнта індикатора ознаки π_1, π	Ймовірність 4 ситуації $p(4)$	Ймовірність 5 ситуації $p(5)$	Швидкодія розпізнавання ситуації 4, k	Швидкодія розпізнавання ситуації 5, k
1	0,05	0,4381	0,878	2	2
2	0,1	0,5639	0,9041	2	2
3	0,35	0,6434	0,9468	2	2
4	0,5	0,6585	0,9556	2	2
5	0,75	0,6721	0,9634	1	1
6	1	0,6796	0,9677	1	1
7	1,5	0,6877	0,9723	1	1
8	1,7	0,6897	0,9734	1	1
9	2	0,6921	0,9747	1	1
10	2,5	0,6947	0,9762	1	1

Графіки, що ілюструють дані з табл. 4, представлені на рис. 20 і 21.

Рис. 20. Графіки залежності рівнів ймовірностей ситуацій СЗО $p(4)$ і $p(5)$ при зміні π_1 Рис. 21. Графіки залежності швидкодії зміни ймовірностей ситуацій СЗО $p(4)$ і $p(5)$ при зміні π_1

Таблиця 5

Зміна ймовірностей ситуацій $p(3)$ і $p(5)$ від значень індикатора «рівень шуму» π_6

№ Дослідду	Значення коефіцієнта індикатора ознаки π_6	Ймовірність 3 ситуації $p(3)$	Ймовірність 5 ситуації $p(5)$	Швидкодія розпізнавання ситуації 3, k	Швидкодія розпізнавання ситуації 5, k
1	0,05	0,4648	0,6089	4	3
2	0,1	0,6021	0,7519	3	3
3	0,2	0,7172	0,8539	3	3
4	0,25	0,743	0,8779	3	2
5	0,3	0,7582	0,8948	2	2
6	0,5	0,7907	0,9307	2	2
7	0,75	0,8121	0,9498	1	1
8	1	0,8233	0,9597	1	1
9	1,5	0,8347	0,9698	1	1
10	1,7	0,8347	0,9698	1	1
11	2	0,8406	0,9794	1	1
12	2,5	0,8441	0,978	1	1

У таблиці 5 представлені результати дослідження впливу значення індикатора рівня адитивного шуму π_6 на ймовірності третьої $p(4)$ і п'ятої $p(5)$ подій.

Графіки, що ілюструють зміну ймовірностей ситуацій $p(3)$ і $p(5)$ від зміни вагового коефіцієнта індикатора супутнього ознаки «рівень адитивного шуму», представлені на рис. 22 і 23.

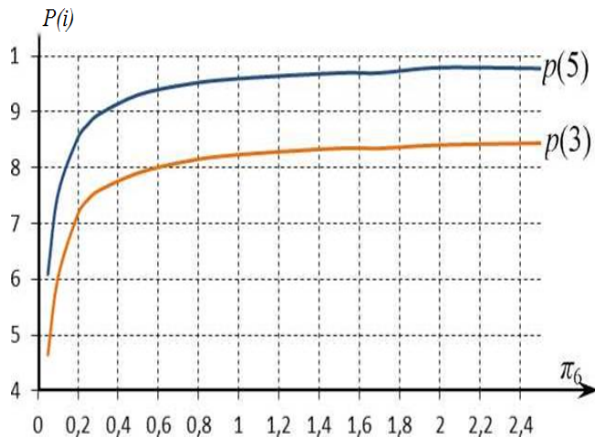


Рис. 22. Графік залежності рівнів ймовірностей ситуацій СЗО $p(3)$ і $p(5)$ при зміні π_6

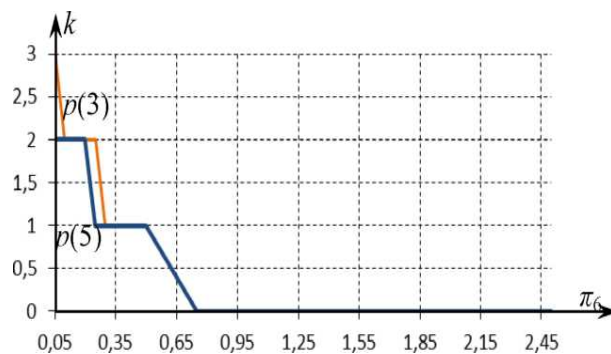


Рис. 23. Графік залежності швидкодії розпізнавання ситуацій СЗО $p(3)$ і $p(5)$ при зміні π_6

Зворотний бік використання інформації індикаторів супутніх ознак при розпізнаванні ситуації СЗО проявляється при помилковому спрацюванні індикаторів. Для правильного призначення вагових коефіцієнтів індикаторів слід враховувати внесок, внесений відповідним індикатором у ймовірності ситуацій СЗО. У таблиці 6 представлені результати дослідження впливу індикаторів π_1 і π_6 на ймовірності $p(3)$ і $p(5)$ при помилковому спрацюванні в момент дії першої ситуації СЗО.

Передбачається, що помилкове спрацювання індикаторів може відбутися тільки по черзі. Одночасне спрацювання індикаторів супутніх ознак свідчить швидше про закономірний зміні ситуації СЗО, ніж про випадкове спрацювання індикатора.

Значення вагових коефіцієнтів індикаторів π_1 і π_6 враховуються в формулі розрахунку апостеріорних ймовірностей ситуацій (1) однаково, а тому, при зміні значень вагових коефіцієнтів і внесок індикаторів π_1 і π_6 в ймовірність ситуацій буде однаковий. Тому дослідження впливу значень індикаторів π_1 і π_6 можна замінити одним загальним дослідженням.

Таблиця 6

Зміна ймовірностей ситуацій $p(1)$ і $p(5)$ від значень індикаторів π_1 , π_6 при помилковому спрацюванні

№ Досліджу	Значення коефіцієнта індикатора ознаки π_1 та π_6	Ймовірність 1 ситуації $p(1)$	Ймовірність 5 ситуації $p(5)$	Швидкодія розпізнавання ситуації 5, k
1	0,05	0,6862	0,004	2
2	0,1	0,6835	0,0081	2
3	0,5	0,6623	0,0392	2
4	1	0,6377	0,0754	2
5	1,5	0,6149	0,1088	2
6	2	0,5937	0,1399	2
7	2,5	0,5739	0,1689	2

З графіка $p(1)$ рис. 24 видно, що при помилковому спрацюванні індикаторів π_1 , π_6 відбувається зниження ймовірності правильного прийняття рішення алгоритмом менш ніж на 0,1, що не є суттєвим для достовірного розпізнавання першої ситуації СЗО, так як рівень ймовірності залишається на рівні понад 0,6

Графік, що ілюструє зміну швидкодії розпізнавання ситуацій $p(1)$, показаний на рис. 25. З графіка видно, що затримка розпізнавання настання першої ситуації СЗО залишається на попередньому рівні.

Аналізуючи графіки на рисунках 19–24, можна зробити висновок, що значення вагових коефіцієнтів індикаторів супутніх ознак забезпечують підвищення швидкодії і достовірності розпізнавання ситуації СЗО. При помилковому спрацюванні індикаторів спостерігається незначне зниження ймовірності правильного прийняття рішення алгоритмом, залишаючи ймовірність ситуації СЗО на рівні достовірного розпізнавання. Це забезпечує коректне і більш ефективне, порівняно з аналогами, розпізнавання ситуації СЗО.

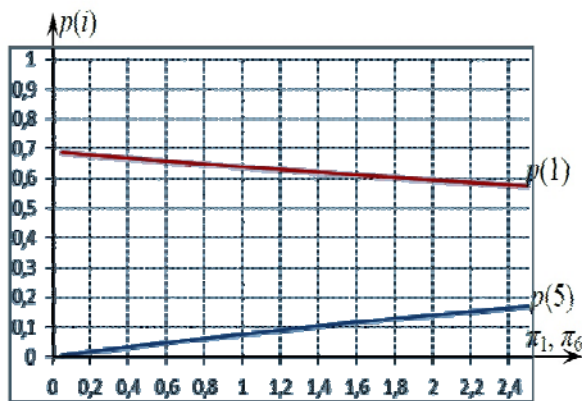


Рис. 24. Графік залежності рівнів ймовірностей ситуацій СЗО $p(1)$ і $p(5)$ від зміни π_1, π_6 при помилковому спрацюванні

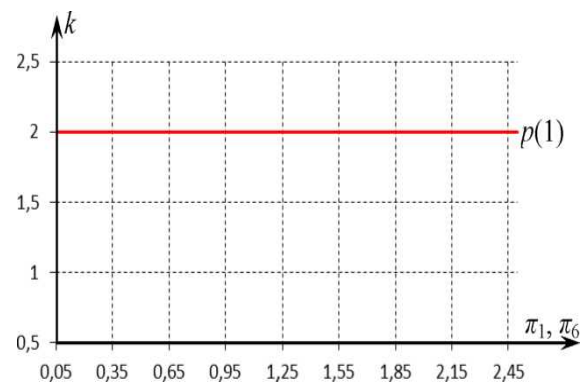


Рис. 25. Графік залежності швидкодії розпізнавання ситуації $p(1)$ ситуації СЗО при помилковому спрацюванні π_1, π_6

Висновки. Оцінка показників ефективності проводиться за результатами імітації роботи алгоритмічного забезпечення ІВКС каналами передачі даних ЦРПС, що виконує розпізнавання ситуації СЗО. Найбільш важливими критеріями ефективності є швидкість та достовірність розпізнавання ситуації СЗО. Скорочення тривалості затримки у виявленні дії імітаційних завад в деяких випадках досягає 50%, а в середньому становить 16,2% порівняно з аналогічним алгоритмом без використання інформації індикаторів супутніх ознак. Підвищення рівнів ймовірностей правильного прийняття рішення модернізованим алгоритмічним забезпеченням в середньому становить 12,5% в порівнянні з базовим алгоритмічним забезпеченням. Для коректності роботи алгоритмічного забезпечення значення вагових коефіцієнтів повинні бути адекватними небезпеки відповідних ситуації СЗО, надавати помірний вплив на ймовірність ситуації при помилковому спрацюванні. При помилковому спрацюванні індикаторів спостерігається незначне зниження ймовірності правильного прийняття рішення алгоритмом, залишаючи ймовірність діючої ситуації СЗО на рівні достовірного розпізнавання.

Література

1. Павлов В.И. Оптимизация функционирования измерительных систем / В.И. Павлов, В.В. Аксенов, Т.В. Белова // Известия Томского политехнического университета. – Томск : Изд-во «Известия ТПУ», 2010. – Т. 317. № 4. – С. 104–106.
2. Крухмалев В.В. Цифровые системы передачи / В.В. Крухмалев, В.Н. Гордиенко, А.Д. Моченов. – М. : Горячая линия - Телеком, 2007. – 351 с.
3. Бойко Ю.М. Дослідження способів завадостійкого кодування для захисту від помилок у цифрових каналах передавання інформації / Ю.М. Бойко, Д.А. Макаришкін // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. Радіотехніка, електроніка та телекомунікації. – 2013. – № 2. – С. 123–130.
4. 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.
5. Карпова Л.В. Дослідження ефективної ширини спектру вузькосмугового імпульсного сигналу в умовах нелінійної частотної модуляції / О.М. Шинкарук, І.І. Чесановський, Л.В. Карпова // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький, 2016. – № 2. – С. 14–18
6. J.M. Boiko, A.I. Eromenko, "Solutions Improve Signal Processing In Digital Satellite Communication Channels", 20th International IEEE conference on microwaves, radar and wireless communications. MIKON-2014. June, Gdansk – Poland, pp. 126–129.
7. Иванов В.И. Цифровые и аналоговые системы передачи : учебник для вузов / В.И. Иванов, В.Н. Гордиенко, Г.Н. Попов и др. ; под ред. В.И. Иванова. – 2-е изд. – М. : Горячая линия – Телеком, 2003. – 232 с.
8. Бухалев В.А. Распознавание, оценивание и управление в системах случайной скачкообразной структурой / Бухалев В.А. – М. : Наука. Физматлит, 1996. – 288 с.
9. Аксенов В.В. Функционирование радиоканала передачи данных при действии имитационных помех В.В. Аксенов // Информационные технологии XXI века : материалы международной научной конференции, Хабаровск, 20–24 мая 2013 г. – Хабаровск : Изд.-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. – С. 182–187.

Рецензія/Peer review : 3.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 15.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор Мартинюк В.В.

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ ПІД ЧАС РЕАЛІЗАЦІЇ СУМІСНОЇ РОБОТИ З СИСТЕМАМИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕНЬ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

В статті розглядаються актуальні питання для забезпечення надійної роботи систем керування повітряним рухом з використанням літакових відповідачів, які розміщені на повітряних суднах без можливості роботи їх на міжнародних трасах. Наведено принцип їх вдосконалення для сумісної роботи з системами попередження зіткнення, підвищення надійності функціонування завдяки використанню великого парку повітряних суден в зонах дії різних навігаційних систем в автоматичному режимі, реалізована можливість дублювання інформації про висоту польоту ПС, що підвищує надійність системи попередження зіткнення повітряних суден.

Ключові слова: повітряні судна, система протизіткнення, літаковий відповідач, шифратор кодів, перетворювач кодів, комірки пам'яті, код висоти, передавач.

A.K. YANOVITSKYI, A.S. YANOVITSKYI, V.F. DZIABURA

Khmelnitskyi National University

IMPROVING THE RELIABILITY OF AIR TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM THE IMPLEMENTATION OF JOINT WITH WARNING SYSTEM AIR CRASH OF AIRCRAFT

This article considered urgent issues to ensure reliable operation of the air traffic control using aircraft defendants placed on aircraft without the possibility of their international routes. Powered principle of perfection, to collaborate with the systems prevent collisions, improve the reliability of operation through the use of a large fleet in areas of different navigation systems automatically, realized the possibility of duplication of altitude aircraft, which increases system reliability collision warning aircraft. Key words: aircraft system anti crash, airplane defendant encoder codes, codes converter, memory cell, the code height transmitter.

В першій половині дев'яностих років минулого століття літовища США, Канади та Західної Європи були обладнані радіолокаторами, які могли працювати як в режимі RBS*, так і адресному режимі.

Для забезпечення польотів повітряних суден (ПС) цивільної авіації на міжнародних трасах в країнах колишнього Радянського Союзу ПС були дообладнані експортними адресними відповідачами (АВ) та системами протизіткнення (СПЗ). При цьому необхідно було змінити порядок використання літакових відповідачів (ЛВ) COM-64, CO-70, CO-72M.

При польотах в зонах дії радіолокаторів, працюючих в режимах УПР або RBS, ЛВ повинні забезпечувати роботу в режимах УПР або RBS.

При роботі ЛВ в режимі RBS:

1) у випадку наявності зовнішнього сигналу “загальний кодер” ЛВ COM-64, CO-70, CO-72M забезпечують видачу паралельного потенціального коду згідно норм ІКАО [Л1, Л2] для системи спутникової навігації (СН) і для системи СПЗ;

2) у випадку наявності зовнішнього сигналу “відключення передавача” передавачі ЛВ в автоматичному режимі відключаються.

* RBS – управління повітряним рухом на міжнародних трасах та нормах ІКАО.

* УПР – управління повітряним рухом в зоні дії радіолокаторів колишнього Радянського Союзу.

* ІКАО – міжнародна організація цивільної авіації.

З метою забезпечення сумісної роботи ЛВ COM-64, CO-70, CO-72M з системами СН та СПЗ на ПО “Новатор” була розроблена необхідна конструкторська документація та виготовлені експериментальні зразки доопрацьованих ЛВ. Були проведені льотні випробування доопрацьованих ЛВ з позитивним результатом.

Для доопрацювання ЛВ COM-64 та CO-70 в шифратор кодів ІКАО 2.082.716 [Л3, Л4], який входить до обох ЛВ, був включений новий функціональний вузол – перетворювач кодів [Л2].

Перетворювач кодів забезпечує:

- при наявності сигналу “загальний кодера” перетворення паралельного імпульсного коду висоти в паралельний потенціальный код і видачу його в системи СН і СПЗ; на час перетворення коду, для виключення несанкціонованої передачі в ефір коду відповіді зі значенням висоти, вхід передавача бланкується;

- при наявності сигналу “відключення передавача” вхід передавача ЛВ бланкується; інформація про висоту польоту, номер і координати ПС передається АВ.

Функціональна схема перетворювача кодів наведена на рис. 1.

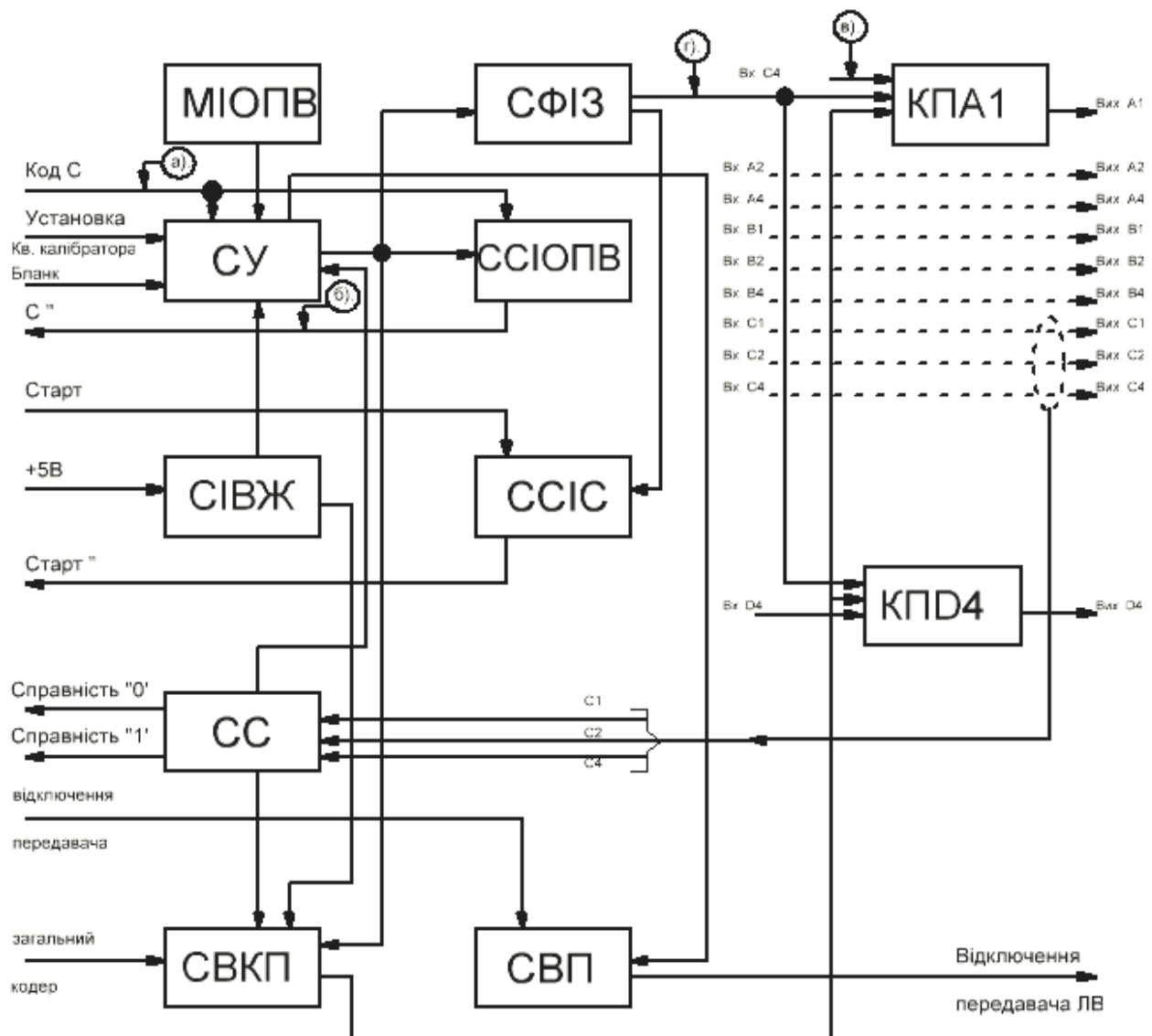


Рис. 1. Схема функціональна перетворювача кодів.

МІОПВ — мультивібратор імпульсу опитування перетворювача висоти.

СУ — схема управління.

СВЖ — схема імпульсу включення живлення.

СС — схема справності.

СВКП — схема встановлення комірок пам'яті в стан "0".

СФІЗ — схема формування імпульсів запису.

ССІОПВ — схема складання імпульсів опитування перетворювача висоти.

ССІС — схема складання імпульсів "старт".

СВП — схема виключення передавача.

КПА1...КПД4 — комірки пам'яті десятирозрядного паралельного потенціального коду

А1...D4.

При включенні ЛВ на схему ІВЖ перетворювача кодів поступає напруга +5В і там формується одиничний імпульс тривалістю 2-3 мс. Він поступає на схеми СУ і СВКП. Це забезпечує: мультивібратор МІОПВ генерування імпульсів тривалістю 1...1,5 мкс з частотою 100–200 Гц, які через схему СУ і СВКП поступають на комірки пам'яті КПА1...КПД4 і встановлюють їх в стан "0".

Після закінчення імпульсу з ІВЖ і наявності зовнішнього запиту "загальний кодера" від систем СПЗ чи СН в перетворювачі висоти забезпечується перетворення паралельного імпульсного коду висоти в паралельний потенціальний код наступним чином.

При відсутності декодованого імпульсу запиту «С», імпульс з мультивібратора МІОПВ [рис. 2. а.)] через схему управління і схему складання імпульсів опитування перетворювача висоти [рис. 2. б.)] поступає на електромеханічний перетворювач висоти шифратора.

З перетворювача висоти шифратора на вхід перетворювача кодів поступає десятирозрядний А1...D4 паралельний імпульсний код (рис. 2. в). При наявності на вході комірки пам'яті імпульсу (рис. 2. г) записується значення "1", а при відсутності значення "0". З комірок пам'яті паралельний потенціальний код висоти поступає зовнішнім абонентам.

При перетворенні паралельного імпульсного коду висоти в потенціальний вихід шифратора на

передавач ЛВ бланкується через схему виключення передавача.

При формуванні коду відповіді в шифраторі на запит радіолокатора кодом С робота перетворення кодів бланкується на 35 ± 5 мкс.

В перетворювач кодів в функціональному вузлі схеми справності (СС) формується сигнал справності з сигналів С1, С2, С4 (згідно норм ІСАО) ознакою справності перетворювача висоти є наявність значення "1" хоча би в одному з розрядів С1, С2, С4). Сигнали справності "1" і справності "0" видаються зовнішнім споживачам.

При відсутності сигналу справності робота перетворювача кодів через схему СУ блокується, а комірки пам'яті паралельного потенціального коду висоти через схему СВКП встановлюється в значення "0".

При наявності на вході перетворювача кодів зовнішнього сигналу "відключення передавача" в схемі відключення передавача ЛВ, який забезпечує бланкування виходу шифратора на передавач.

В ЛВ СО-72М перетворення аналогового значення висоти в спеціальний паралельний потенціальний код здійснюється в блоці перетворення інформації (БПІ) [ЛЗ]. Цей код і квитанція справності перетворювача з БПІ поступає на моноблок через раму.

Для забезпечення видачі спеціального паралельного потенціального коду при наявності сигналу "відключення передавача" в СО-72М був введений пристрій сполучення [ЛЗ]. Схема функціональна пристрою сполучення приведена на рис. 3.

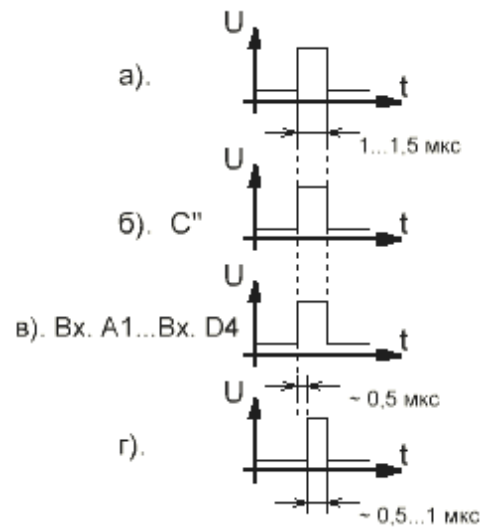


Рис. 2. Діаграми напруг імпульсів запису значень паралельного коду висоти в комірки пам'яті

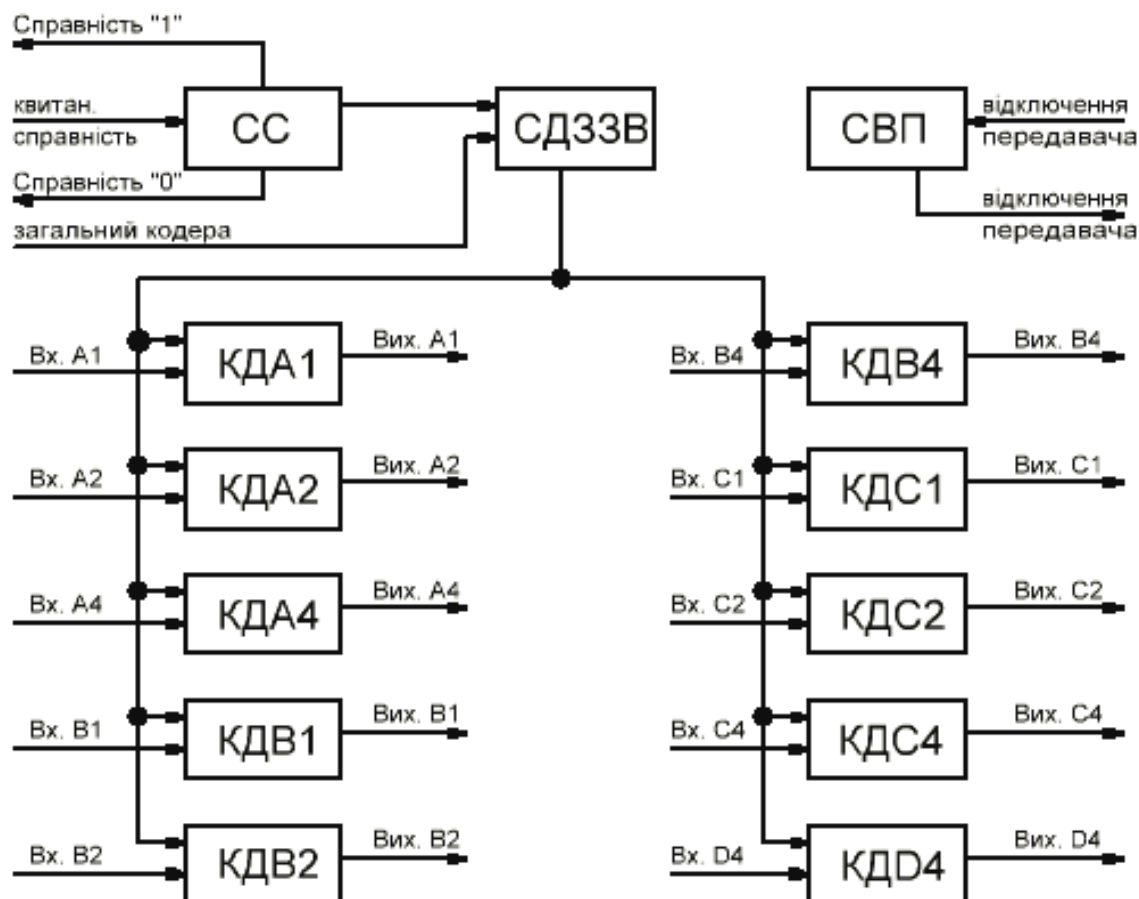


Рис. 3. Схема функціональна пристрою сполучення

СС — схема справності.

СД33В — схема дозволу запити значень висоти.

СВВ — схема відключення відповідача.

КДА1 ... КДД4 — комірки дозволу передачі коду висоти.

З блоку БПІ на пристрій сполучення поступають сигнали: "квитанція справності" перетворювача висоти і 10 розрядів спеціального паралельного коду висоти. В схемі справності формуються сигнали "справність 1" і "справність 0" для систем ССП і СПЗ.

При наявності сигналу “загальний кодера” і сигналу “справність” в схемі дозволу запису значень висоти формується сигнал дозволу запису значень висоти в комірки дозволу КДА1 ... КДД4, що забезпечує видачу значень висоти в системи СП і СПЗ.

При наявності сигналу відключення передавача в схемі відключення передавача формується сигнал “відключення відповідача”. Цей сигнал забезпечує відключення передавача СО-72М. Передачу всієї необхідної інформації про координати, бортовий номер, висоту польоту ПС на радіолокатори в режимі RBS і адресному режимі забезпечується АВ, а ЛВ СО-72М забезпечує видачу значень поточної висоти польоту ПС в системи ССП і СПЗ.

Таким чином була реалізована можливість використання великого парку ПС в зонах дії різних навігаційних систем в автоматичному режимі при переході з однієї зони в іншу. При цьому реалізована можливість дублювання інформації про висоту польоту ПС, що суттєво підвищує надійність системи попередження зіткнення ПС.

Література

1. Системы вторичной радиолокации. ГОСТ 21800-89.
2. Приложение 4 к 1.234.182РЭ и 1.234.106-14РЭ. Сопряжение с внешними системами в части выдачи параллельного кода, Международные стандарты и рекомендации. Авиационная электросвязь.
3. Приложение 1 к 1.234.224РЭ. Сопряжение с внешними системами в части выдачи параллельного кода высоты по нормам ИКАО. Авиационная электросвязь.
4. Мазуренко О.В. Підвищення ефективності бортової радіолокаційної системи управління повітряним рухом / О.В. Мазуренко, О.К. Яновицкий, К.Л. Горяченко // Вісник Хмельницького національного університету, Технічні науки, Хмельницький. – № 1. – 2011. – С .173-178.

Рецензія/Peer review : 18.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 15.12.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Любчик В.Р.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОВУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ПРЯМОГО РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ

Стаття присвячена нейромережевому підходу прогнозування часових рядів. Розглянуто структуру нейронної мережі прямого розповсюдження, призначеної для прогнозування часових рядів, що являє собою нелінійну авторегресійну мережу з зовнішніми входами. Розглянуто вплив параметрів даної нейронної мережі та розмірів навчальної вибірки на здатність мережі до навчання. Основна увага приділена глибині занурення в ряд. Показано, що при недостатній глибині занурення нейронна мережа не здатна навчатися, в прогнозованих значеннях спостерігається відставання на горизонт прогнозування; натомість велика глибина занурення призводить до перенавчання мережі. В статті запропоновано підхід до побудови навчальної вибірки з оптимальними значеннями глибини занурення, достатньої для того, щоб навчити нейронну мережу прогнозувати часовий ряд і одночасно уникнути перенавчання.

Ключові слова: часовий ряд, прогнозування, нейронні мережі прямого розповсюдження, глибина занурення.

A.S. KASHTALIAN
Khmelnytsky National University, Khmelnytsky, Ukraine

THE FEATURES OF FEEDFORWARD NEURAL NETWORK USE FOR TIME SERIES FORECASTING

Abstract. The article is devoted to neural network technique for time series forecasting. Time series forecasting is an important task in physics, biology, economics, etc. A structure of feedforward neural network for time series prediction is considered, it represents nonlinear autoregressive network with external inputs. An influence of given neural network parameters and training set size on network ability to training is regarded. The main attention is paid to an immersion depth into a series. It is pointed that a neural network cannot be trained with an insufficient immersion depth, it observes predicted values lag behind real values on the prediction horizon. Instead a large immersion depth leads to network overfitting. The approach to creating of the training set with optimal values of immersion depth which is sufficient to train neural network to predict a time series and at the same time to avoid overfitting is suggested.

Key words: time series, forecasting, feedforward neural networks, immersion depth.

Постановка задачі. Багато процесів та явищ, що відбуваються в області фізики, техніки, біології, економіки можна описати часовими рядами. До основних задач аналізу часових рядів відносяться визначення природи ряду даних та прогнозування. Прогнозування майбутніх значень часових рядів необхідно для вибору стратегії контролю системи або оптимізації діяльності, виробництва тощо.

Формально часовий ряд є послідовністю векторів, що залежать від часу: $X(t), t = 0, 1, 2, \dots, T$. Позначимо часовий ряд як $X(t) = X(1), X(2), \dots, X(T)$. В момент часу T необхідно визначити значення процесу $X(T)$ в моменти часу $T + 1, \dots, T + P$. Момент часу T називається моментом прогнозу, а величина P - горизонтом прогнозування [1].

Для обчислення значень часового ряду в майбутні моменти часу необхідно визначити функціональну залежність, відображену між минулими та майбутніми значеннями цього ряду

$$X(t) = F(X(t-1), X(t-2), X(t-3), \dots) + \varepsilon_t. \quad (1)$$

Залежність (1) є моделлю прогнозування. Необхідно розробити таку модель прогнозування, для якої середнє абсолютне відхилення істинного значення від прогнозованого прямуватиме до мінімального для

$$\text{заданого горизонту } P: \bar{E} = \frac{1}{P} \sum_{t=T+1}^{T+P} |\varepsilon_t| \rightarrow \min.$$

Вираз (1) можна переписати у вигляді

$$\hat{X}(t) = F(X(t-1), X(t-2), X(t-3), \dots),$$

де $\hat{X}(t)$ - прогнозовані (розрахункові) значення часового ряду $X(t)$. Крім отримання майбутніх значень $\hat{X}(T+1), \dots, \hat{X}(T+P)$ необхідно визначити довірчий інтервал можливих відхилень цих значень.

За наявності зовнішніх факторів впливу модель прогнозування ускладнюється. Нехай перший зовнішній фактор $Y_1(t_1)$ доступний в дискретні моменти часу $t_1 = 0, 1, 2, \dots, T_1$, другий зовнішній фактор $Y_2(t_2)$ доступний в моменти часу $t_2 = 0, 1, 2, \dots, T_2$ і так далі. У випадку, якщо дискретність вихідного часового ряду та зовнішніх факторів, а також значення $T, T_1, \dots, T_s$ різні, то часові ряди зовнішніх факторів $Y_1(t_1), \dots, Y_s(t_s)$ необхідно привести до єдиної шкали часу t . В момент прогнозу T необхідно визначити майбутні значення вихідного процесу $X(t)$ в моменти часу $T + 1, \dots, T + P$, враховуючи вплив зовнішніх факторів $Y_1(t), \dots, Y_s(t)$.

Для визначення майбутніх значень процесу $X(t)$ у вказані моменти часу необхідно визначити

функціональну залежність між минулими значеннями $X(t)$ та майбутніми, а також прийняти до уваги вплив зовнішніх факторів на вихідний часовий ряд, що визначає модель прогнозування з врахуванням зовнішніх факторів:

$$X(t) = F(X(t-1), X(t-2), \dots, Y_1(t-1), Y_1(t-2), \dots, Y_s(t-1), Y_s(t-2), \dots) + \varepsilon_t \quad (2)$$

Прийнято вважати, що задачі визначення природи ряду та його прогнозування вимагають, щоб модель ряду була ідентифікована та формально описана. Як тільки модель визначена за її допомогою можна інтерпретувати дані та екстраполювати ряд на основі знайденої моделі, тобто прогнозувати його майбутні значення.

Аналіз досліджень та публікацій. Традиційні методи прогнозування часових рядів в більшості випадків в якості вхідних даних використовують тільки інформацію, яка закладена в попередніх значеннях часового ряду. Зовнішні фактори впливу при цьому враховуються неявно, вважається, що попередні значення часового ряду несуть всю необхідну для прогнозування інформацію. На противагу нейронні мережі не мають обмежень на характер вхідної інформації. Поряд з попередніми даними часового ряду, можливо подавати на вхід нейронної мережі безпосередньо інші вхідні величини, які також впливають на майбутні прогнозовані значення ряду. Нейронні мережі в результаті навчання здатні будувати оптимальну модель часового ряду.

Нейромережевий підхід до прогнозування часових рядів є непараметричним в тому сенсі, що не вимагає інформації щодо процесу, який генерує сигнал. Відомо, що рекурентні нейронні мережі є реалізацією нелінійного ARMA (NARMA) процесу [2][3]. Здатність нейронних мереж прогнозувати ґрунтується на властивостях апроксимації та узагальнення. Однак певні обмеження та ускладнення при використанні нейронних мереж залишаються недостатньо дослідженими [4][5][6], в особливості для нових структур нейронних мереж. До таких особливостей відносяться: викиди, що ускладнюють моделювання істинної функціональної залежності; періодичність, наявна в часовому ряді, яку необхідно усувати перед моделюванням; стаціонарність є класичною ознакою для прогнозування стаціонарних часових рядів, тоді як більшість реальних часових рядів є нестаціонарними; число зразків в часовому ряді, дослідниками визначено, що збільшення числа точок не завжди призводить до підвищення точності прогнозування; проблема довгих часових залежностей, що призводить до зникаючого градієнту та «забування» поведінки ряду. Ці проблеми безпосередньо пов'язані з передобробкою даних та формуванням навчальної вибірки і потребують дослідження.

Матеріал та результати досліджень. Для динамічних систем доведена теорема Такенса. Якщо часовий ряд породжується динамічною системою, тобто значення X_t є довільні функції стану системи, то існує така глибина занурення d (приблизно рівна ефективному числу степенів свободи даної динамічної системи), яка забезпечує однозначне передбачення наступного значення часового ряду (рис. 1).

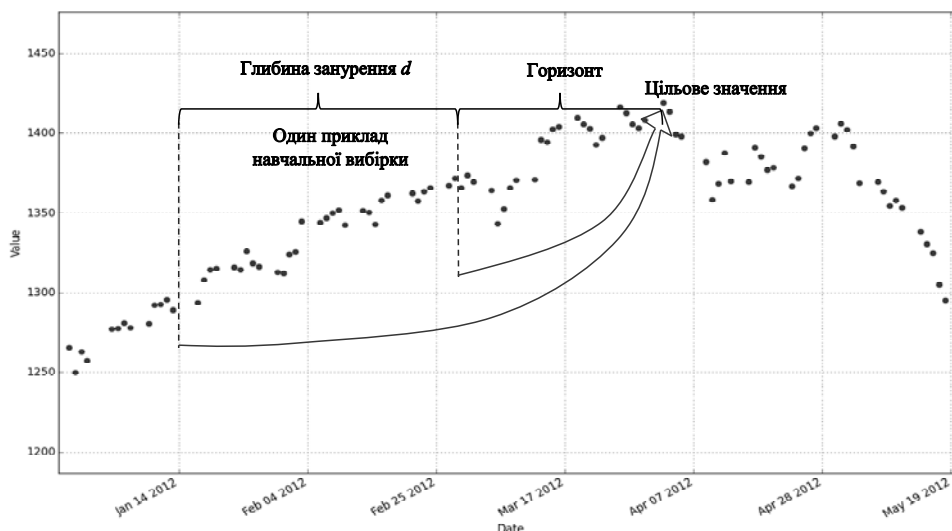


Рис. 1. Формування одного прикладу навчальної вибірки

Таким чином, обравши достатньо велике d , можна гарантувати однозначну залежність майбутнього значення ряду від його d попередніх значень:

$$X_t = f(X_{t-d}),$$

тобто прогнозування часового ряду зводиться до задачі інтерполяції функції багатьох змінних.

Нейронну мережу далі можна використовувати для відновлення цієї невідомої функції за набором прикладів, заданих історією часового ряду [7].

Для оцінки здатності прогнозування нейронною мережею розглянемо нестаціонарні часові ряди, що генеруються динамічними системами. До таких рядів безумовно можна віднести часові ряди цін на акції,

курсів валют, індексів тощо. Для усунення таких явищ як викиди, нестационарність, кореляція і т.п. дані часового ряду потребують передоброби, в тому числі попереднього відбору інформативних ознак ряду [8]. В статті в якості нестационарного часового ряду використано історичні дані цін закриття на акції компанії Apple Inc.

В статті розглядається нелінійна авторегресійна мережа з зовнішніми входами, необхідними для врахування зовнішніх факторів впливу на значення часового ряду. Нелінійну авторегресійну мережу можна реалізувати в різний спосіб, але найпростішим є використання нейронної мережі прямого розповсюдження з вбудованою пам'яттю, як показано на рис. 2. Таким чином мережа залежить від d попередніх значень ряду, тобто від глибини занурення. Цей параметр здебільшого асоціюють з часовим вікном, оскільки воно забезпечує обмежений доступ до частини всього ряду.

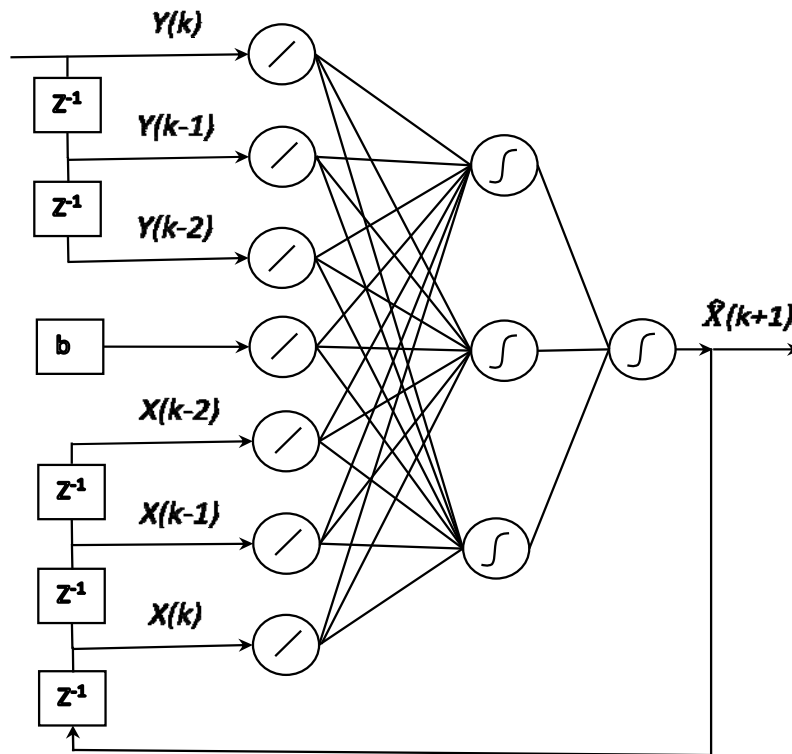


Рис. 2. Багатошаровий персептрон з лінією затримок

Стани даної нелінійної авторегресійної мережі можна представити у вигляді

$$z(k+1) = \begin{cases} \Phi(y(k), z_i(k)), & i = 1 \\ z_i(k) & i = 2, 3, \dots, N \end{cases}$$

де вихід $y(k) = z_i(k)$ та $z_i, i = 1, 2, \dots, N$ є змінними стану нейронної мережі.

Нейрони першого шару даної мережі мають лінійну функцію активації. Вихідний шар містить один нейрон з сигмоїдальною функцією активації. На рис. 2 схематично зображено один прихований шар нейронів з сигмоїдальною функцією активації. В загальному випадку прихованих шарів може бути довільна кількість, однак дослідження показали, що оптимальною кількістю є від 1 до 3. Для нейронної мережі, зображеної на рис. 2 загальне рівняння прогнозування наступного значення часового ряду може бути записане як

$$x(k+1) = \Phi_o \left\{ w_{b0} + \sum_{h=1}^n w_{ho} \cdot \Phi_h \left(w_{ho} + \sum_{i=0}^d w_{ih} \cdot y(k-i) + \sum_{j=0}^d w_{jh} \cdot x(k-j) \right) \right\}$$

Глибина занурення визначає кількість нейронів вхідного шару персептрона, якщо у якості вхідних даних використовуються тільки значення часового ряду. Кількість нейронів вхідного шару буде збільшуватись, якщо крім того використовуються додаткові вхідні величини.

На кількість нейронів в прихованому шарі мережі накладаються певні обмеження. Зокрема використовується наступне співвідношення, кількість нейронів в прихованому шарі $N_h = \frac{N_S}{\alpha \cdot (N_i \cdot N_o)}$, де

N_i - кількість нейронів у вхідному шарі, N_o - кількість нейронів у вихідному шарі, N_S - кількість прикладів навчальної вибірки, тобто її розмір, α - конструктивний коефіцієнт. З цього співвідношення можна зробити висновок, що розмір навчальної вибірки N_S повинен значно перевищувати кількість

вхідних нейронів мережі, а отже і глибину занурення d .

Вибір глибини занурення має надзвичайний вплив на результат навчання нейронної мережі, і як наслідок, на точність прогнозування. Для аналізу навчання нейронної мережі необхідно насамперед протестувати нейронну мережу in-sample, тобто на навчальній вибірці, і потім out-of-sample на тестовій вибірці. Якщо глибина занурення буде недостатня, то мережа не навчиться прогнозувати майбутні значення, а натомість в якості прогнозованого даватиме останнє значення, тобто ми отримаємо ефект затримки прогнозованих значень (рис. 3).

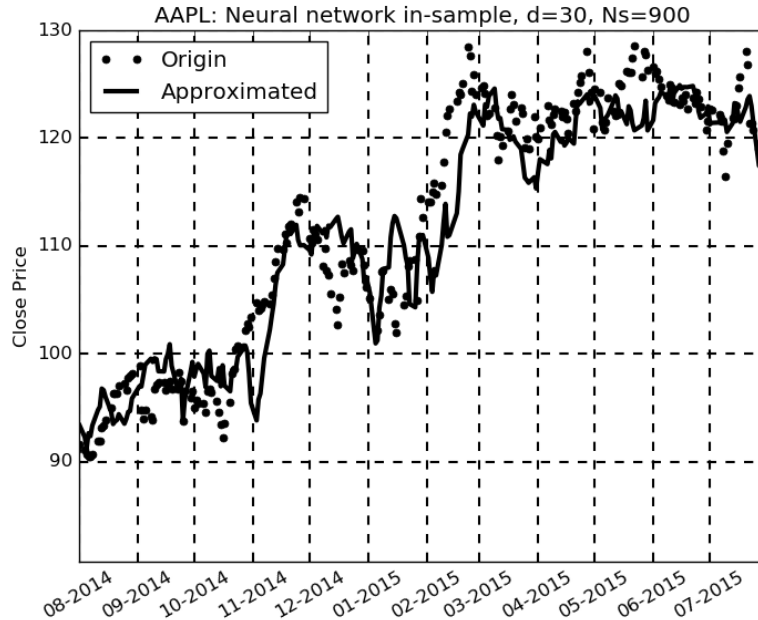


Рис. 3. In-sample нейронної мережі прямого розповсюдження при співвідношенні глибина занурення/розмір навчальної вибірки 30/900

На рис. 3 відображено співвідношення глибини занурення та розміру навчальної вибірки 30/900, такий розмір навчальної вибірки у відношенні до кількості вхідних нейронів повинен забезпечити достатній результат навчання нейронної мережі. Але глибина занурення не забезпечує достатньої вхідної інформації для прогнозування майбутніх значень. На рис. 4 представлено дані аналізу впливу співвідношення глибина занурення/ розмір навчальної вибірки на затримку апроксимованого сигналу, звідки випливає, що затримка (відставання) за недостатньої глибини занурення дорівнює горизонту прогнозування.



а) горизонт прогнозування $P=12$

б) горизонт прогнозування $P=24$

Рис.4. Затримка між цільовими значеннями та апроксимованими мережею in-sample

Таким чином, щоб мережа відображала модель ряду необхідно збільшувати глибину занурення. З рис. 4 видно, що при збільшенні глибини занурення, затримки між реальними і прогнозованими значеннями in-sample немає. Але якщо якісно проаналізувати in-sample мережі, навченої на вибірці з більшою глибиною

занурення (рис. 5), то виникне інша проблема – перенавчання.

Мережа показує високу точність in-sample (на навчальній вибірці), але низьку точність на out-of-sample (тестовій вибірці), що є ознакою перенавчання (overfitting).

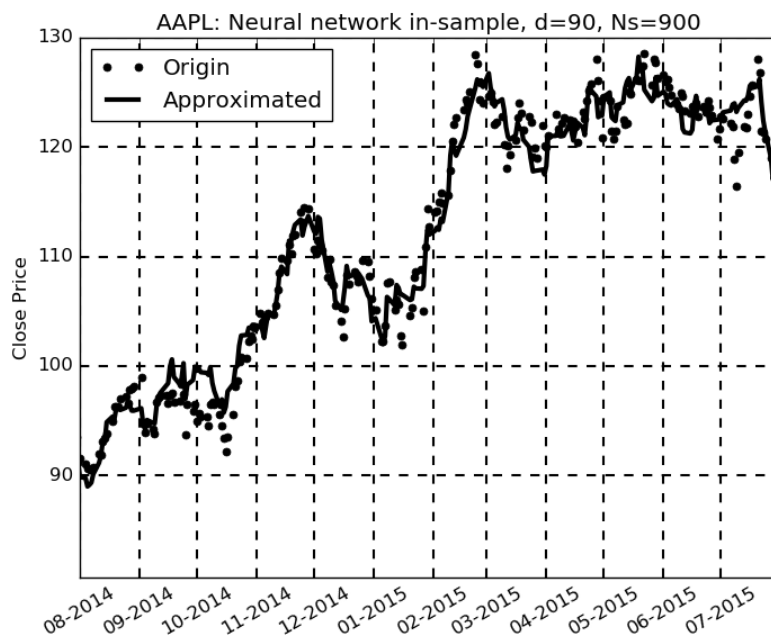


Рис.5. In-sample нейронної мережі прямого розповсюдження при співвідношенні глибина занурення/розмір навчальної вибірки 90/900

Таким чином, необхідно досягти оптимального співвідношення глибина занурення/ розмір навчальної вибірки, яке з одного боку забезпечить достатню кількість вхідної інформації для виключення ефекту запізнення та точності прогнозування, і з другого кількість нейронів мережі, що виключатиме перенавчання.

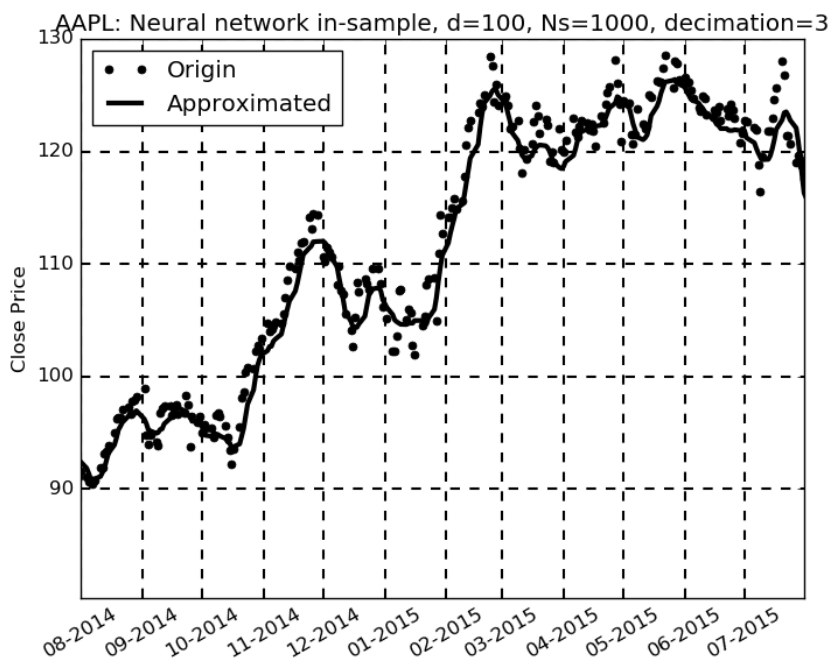


Рис.6. In-sample нейронної мережі прямого розповсюдження при співвідношенні глибина занурення/розмір навчальної вибірки 100/1000, проріджування – 3 значення, попереднє згладжування – фільтр Савіцького-Голєва

Одним з шляхів розв'язку може бути прорідження даних ряду, що подаються на вхід нейронної мережі. Це дає можливість зберегти глибину занурення достатньо великою, зменшивши при цьому кількість вхідних нейронів. Для зменшення втрат інформації, що несеться в проріджених даних, часовий ряд слід попередньо згладити, для чого можна використати різні способи фільтрації, зокрема вейвлет-перетворення або фільтри на зразок Савіцького-Голєва. На рис. 6 відображено результати in-sample для ряду, попередньо згладженого фільтром Савіцького-Голєва і прорідженого через 3 значення. Це дозволяє отримати кількість нейронів вхідного шару втричі меншою за глибину занурення. В даному випадку глибина занурення

складатиме $d = 100$, але кількість нейронів вхідного шару $N_i = 100/3 = 33$, що забезпечують оптимальне співвідношення між кількістю нейронів мережі та розміром навчальної вибірки.

Висновки. В статті проаналізовані можливості використання нейронної мережі прямого розповсюдження для прогнозування часових рядів та певні труднощі, які при цьому виникають. Зокрема, досліджено вплив такого важливого параметру як глибина занурення на результативність навчання нейронної мережі. Підтверджено, що недостатня глибина занурення призводить до появи відставання у прогнозованих значеннях на горизонт прогнозування; тоді як значне збільшення глибини занурення зумовлює перенавчання мережі. Запропоновано шлях подолання цього протиріччя за рахунок передобробки часового ряду, з якого формується навчальна вибірка. Зокрема, пропонується використання згладжуючих фільтрів та проріджування. Це дає можливість зберегти величину глибини занурення такою, що містить достатньо інформації для прогнозування часового ряду.

Дана стаття містить рекомендації щодо вибору структури та параметрів нейронної мережі, подальше дослідження потребує проведення ще більшої кількості чисельних експериментів для уточнення співвідношень. Також потребує аналізу вибір глибини занурення, виходячи з конкретних умов заданого довірчого інтервалу та горизонту прогнозування.

Література

1. Бокс. Дж. Анализ временных рядов, прогноз и управление / Дж. Бокс, Г.М. Дженкинс. – М.: Мир, 1974. – 406с.
2. Haykin S. Neural Networks, Secon Edition/ Simon Haykin. - Pearson Education, 1999. – 823p.
3. Mandic D.P. Recurrent Neural Networks for Prediction/ D.P. Mandic, J.A. Chambers – JohnWiley&Sons, 2001. – 295p.
4. Lin Tsungnan. Learning long-term dependencies in NARX recurrent neural networks, IEEE Transactions on Neural Networks/ Tsungnan Lin, Bill G. Horne, Peter Tino, C. Lee Giles - Vol. 7, No. 6, 1996, pp. 1329-1351.
5. Lin Tsungnan. A Delay Damage Model Selection Algorithm for NARX Neural Networks/ Tsungnan Lin, C. Lee Giles, Bill G. Horne, S.Y. Kung. - IEEE Transactions on Signal Processing, "Special Issue on Neural Networks", Vol. 45, No. 11, 1997, pp. 2719-2730.
6. Siegelmann H. T. Computational capabilities of recurrent NARX neural networks, IEEE Transactions on Systems/ H. T. Siegelmann, B. G. Horne and C. Lee Giles. - Man and Cybernetics, Part B, Vol. 27, No.2, 1997, pp. 208-215.
7. Ежов А.А. Нейрокомпьютинг и его применения в экономике и бизнесе/ А.А. Ежов, С.А. Шумский. – М.: МИФИ, 1998. – 222с.
8. Pollok D.S.G, A Handbook of Time Series Analysis, Signal Processing and Dynamics/ D.S.G. Pollok. - Academic Press, 1999. – 720p.

Рецензія/Peer review : 10.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 15.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Полікаровських О.І.

O.S. ZVIAHIN, O.V. OSADCHUK, A.YU. SAVYTSKYI,
S.V. BARABAN, O.O. SELETSKA
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

THE RADIOMEASURING HUMIDITY SENSOR WITH THE FREQUENCY OUTPUT SIGNAL

Developed the radiomeasuring air relative humidity sensor with the frequency output signal, where as the primary sensor used Honeywell company sensor. The dependences of transformation function and equation of sensitivity of the radiomeasuring air relative humidity sensor are obtained. The equation of the sensitivity shows that with the relative humidity changes from 0 %RH to 100 %RH the sensitivity varies from 550 Hz/%RH to 350 Hz/%RH. The discrepancy between the theoretical and experimental results is 5%.

Keywords: relative humidity, sensor, negative resistance, frequency, transformation function, sensitivity.

О.С. ЗВЯГІН, О.В. ОСАДЧУК, А.Ю. САВИЦЬКИЙ, С.В. БАРАБАН, О.О. СЕЛЕЦЬКА
Вінницький національний технічний університет

РАДІОВІМІРЮВАЛЬНИЙ СЕНСОР ВОЛОГІСТІ З ЧАСТОТНИМ ВИХІДНИМ СИГНАЛОМ

Розроблено радіовимірювальний сенсор відносної вологості повітря з частотним вихідним сигналом, де в якості первинного сенсора використано сенсор фірми Honeywell. Отримано залежності функції перетворення та рівняння чутливості радіовимірювального сенсора вологості повітря. З рівняння чутливості видно, що при зміні відносної вологості від 0 % до 100% чутливість змінюється від 550 Гц /% до 350 Гц /%. Розбіжність теоретичних та експериментальних результатів складає 5%.

Ключові слова: відносна вологість, сенсор, від'ємний опір, частота, функція перетворення, чутливість.

Introduction

Measuring equipment is an integral part of our life in today's world. Measuring various physical quantities is an urgent problem which not one scientific school has been working on for decades. The number of physical quantities that can be measured increases every year due to the rapid development of scientific and technological progress, information processing tools [1] and technologies that allow to develop new sensors of physical quantities. But it is not necessary to create a new class of physical quantity sensors. It is also important to improve existing sensors. These basic characteristics include measurement accuracy, sensitivity and threshold of sensitivity sensor. This paper focuses on the sensors to measure humidity.

The humidity sensors are part of many measuring tools and measurement systems and help to monitor the quality of products. The tasks of monitoring and control of technological processes in various industries is impossible without the use of the relative humidity sensors.

Theoretical and experimental research

Theoretical studies have shown that using transistor structures with negative resistance significantly increases the sensitivity and the accuracy of the measuring signal, in this case the relative humidity [2, 3]. The block diagram of the radiomeasuring humidity sensor with the frequency output signal is shown in figure 1.

The device consists of two main parts: the radiomeasuring sensor unit and the information processing unit as seen from the block diagram.

The radiomeasuring humidity sensor consists of the primary and the secondary sensors. The primary sensor converts the relative humidity in the capacity. As the primary sensor Honeywell company sensor HCH-1000 is used, which has a sensitivity 0,6 pF/%RH. The transformation function of the primary sensor is displayed in figure 2.

The secondary sensor is developed on the basis of self-oscillator transistor structure with negative resistance. The primary sensor capacity changes the equivalent capacitance of the self-oscillator and causes an effective change in the output signal frequency of the self-oscillator.

The calculated values of the frequency via the data bus gets to the microprocessor which provides a graphical visualization of the relative humidity on the LCD display.

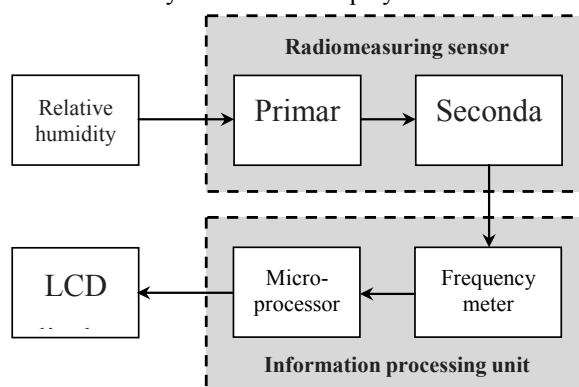


Fig. 1. The block diagram of the radiomeasuring humidity sensor with the frequency output signal

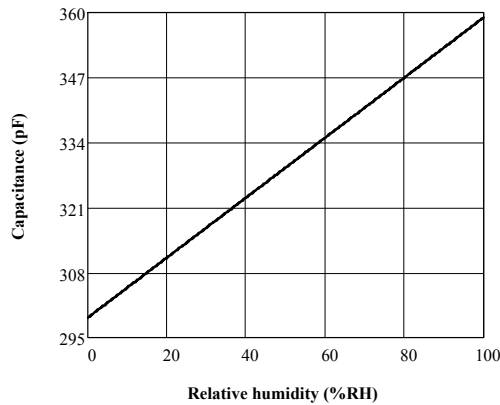


Fig. 2. The transformation function of the primary sensor

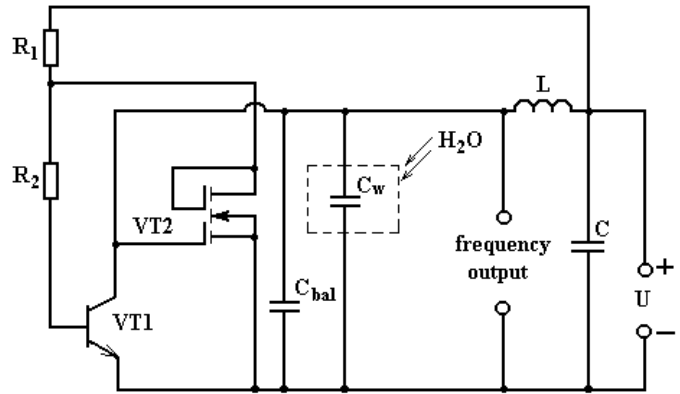


Fig. 3. The electric circuit of the secondary sensor

The electric circuit of the secondary sensor is shown in figure 3. The dynamic mathematical model of the radiomeasuring humidity sensor is developed and presented in scientific research [4]. It allows you to determine the voltage and current at any point of the circuit at a given time.

For experimental research in the secondary sensor circuit transistors BF240 and BF998 with supply voltage $U = 1,25 \text{ V}$ are used.

Knowing the output signal frequency F for different values of the humidity sensitive capacitance C_w the transformation functions of the secondary sensor was received.

The theoretical transformation functions of the secondary humidity sensor for different values of inductance are displayed in figure 4.

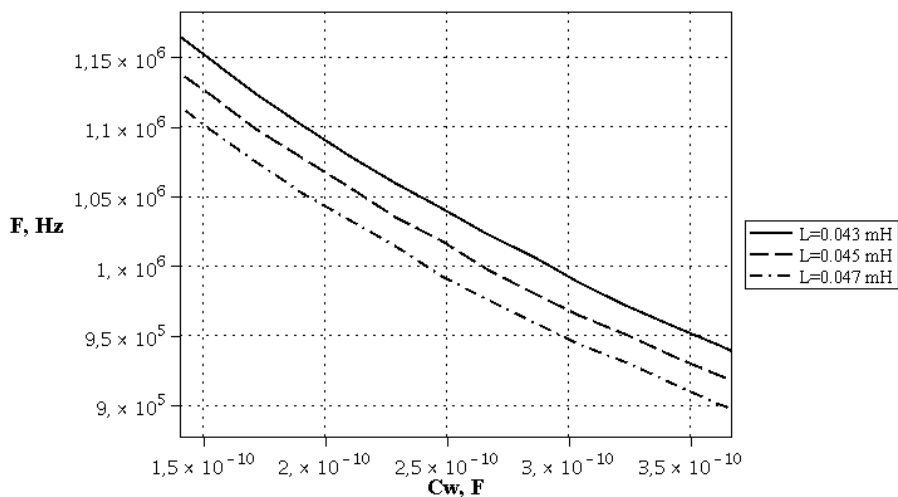


Fig. 4. The theoretical transformation functions of the secondary sensor

The transformation function of the radiomeasuring humidity sensor with the frequency output signal is described by the equation:

$$F = \frac{\sqrt{LC_e C_e C_i(W) (C_c C_e + C_c C_i(W) + C_e C_i(W))}}{2\pi LC_e C_e C_i(W)}, \quad (1)$$

where C_c, C_e – capacity of the collector and emitter junction respectively;

$$C_i(W) = C_w(W) + C_{bal}.$$

On the basis of the equation (1) the transformation function graph of the radiomeasuring humidity sensor was obtained, which is shown in figure 5.

Figure 5 shows that with the humidity changes from 0 %RH to 100 %RH the frequency decreases from 936 kHz to 900 kHz. The discrepancy between the theoretical and experimental results is 5%.

The sensitivity of the radiomeasuring air relative humidity sensor, based on the expression (2), is determined:

$$S_W = \frac{LA_1 \frac{\partial C_i(W)}{\partial W} + LC_e C_e C_i(W) (C_c + C_e) \frac{\partial C_i(W)}{\partial W}}{4 \cdot \left(\pi LA_2 C_c C_e C_i(W) - \frac{A_2 \frac{\partial C_i(W)}{\partial W}}{2\pi LC_e C_e C_i^2(W)} \right)}, \quad (2)$$

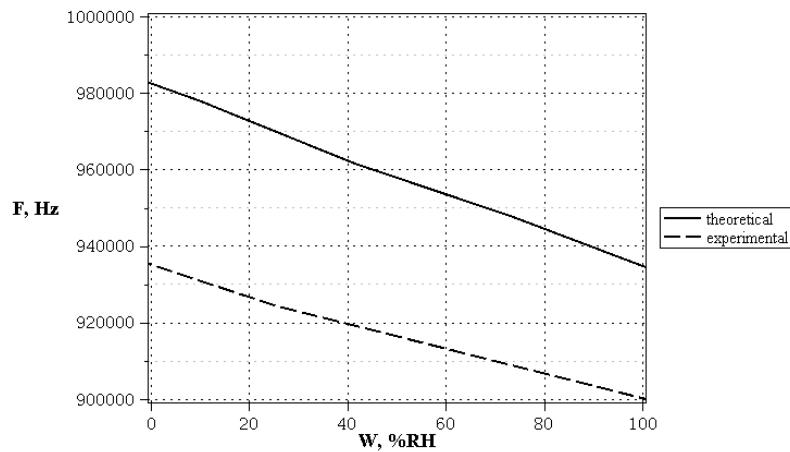


Fig. 5. The theoretical and experimental transformation functions of the radiomeasuring air humidity sensor

where $A_1 = C_c C_e (C_c C_e + C_c C_i(W) + C_e C_i(W))$;
 $A_2 = \sqrt{LC C_e C_i(W) (C_c C_e + C_c C_i(W) + C_e C_i(W))}$.

The dependence of the sensitivity on the humidity changes is displayed in figure 6.

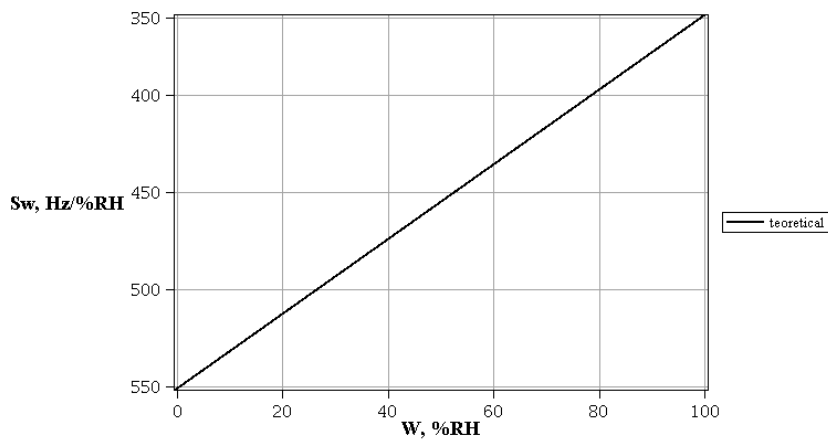


Fig. 6. The dependence of the sensitivity on the humidity changes

Figure 6 shows that with the humidity changes from 0 %RH to 100 %RH the sensitivity varies from 550 Hz/%RH to 350 Hz/%RH.

Conclusion

The possibility of creating the radiomeasuring air relative humidity sensor with the frequency output signal based on the transistor structure with negative resistance is showed. Based on the mathematical model of the radiomeasuring air relative humidity sensor the dependences of transformation function and equation of sensitivity are obtained. The sensitivity of the radiomeasuring air relative humidity sensor is 450 Hz/%RH on the average.

References

1. Bortnik G. G. Methods and tools for analog-digital conversion of high-frequency signals : monograph / Bortnik G. G., Bortnik S. G., Kychak V. M. – Vinnytsia : «Universum-Vinnytsia», – 2013. – 128 pp.
2. Osadchuk V.S. Generators of electric fluctuations based on transistor structures with negative resistance : monograph / Osadchuk V.S., Osadchuk O.V., Semenov A.O. – Vinnytsia : «Universum-Vinnytsia», – 2009. – 182 pp.
3. Osadchuk O.V. Device for measuring clean rooms air humidity / Osadchuk O.V., Savitskyi A.Yu., Zhahlovska O.M. // Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. – Khmelnytsky, 2014. – Issue 4. Volume 215. – pp. 60–63.
4. Osadchuk V. S. The mathematical model of the frequency humidity transformer with the capacitive cylindrical structure / Osadchuk V. S., Osadchuk O. V., Zviahin O. S. // Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute. – Vinnytsia, 2011. – Issue 1. – pp. 140–146.

Рецензія/Peer review : 27.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 15.12.2016 р.

Рецензент: Doctor of Engineering, Professor Kychak V. M.

УДК 621.396:615.47(075)

А.Ю. КЛАПОУЩАК, Д.М. БАРАНОВСЬКИЙ, В.С. ПАВЛОВ

Вінницький національний технічний університет

ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ ЕМ-ВИПРОМІНЮВАННЯ З БІОБ'ЄКТАМИ

В роботі розглядаються особливості взаємодії ЕМ-випромінювання з біоб'єктами, наводяться результати експериментальних досліджень. Визначаються особливості низькоінтенсивної терапії та її переваги над іншими методами лікування. Зроблено висновок, що частотно-залежний відгук системи на опромінення характерний тільки для живих організмів. Наводяться можливості та переваги використання міліметрового випромінювання для діагностики і лікування.

Ключові слова: ЕМ-випромінювання, біоб'єкт, опромінення, міліметрове випромінювання, біологічний ефект.

A.U. KLAPOUSCHAK, D.M. BARANOVSKIY, V.S. PAVLOV

Vinnytsia National Technical University

FEATURES OF INTERACTION OF RADIATION WITH BIOLOGICAL OBJECTS EYF

In this article, features of the interaction EM radiation on biological objects, the results of experimental studies. Identify features low intensive therapy and its advantages over other methods of treatment. In assessing the effects of the interaction of electromagnetic radiation with various objects it is divided into ionizing and non-ionizing. To include an ionizing radiation quantum energy is so great that it leads to the breakdown of intermolecular bonds or ionization. Low level radiation in the millimetre range using physical therapy as a promising tool in the treatment of various diseases in gastroenterology, oncology, traumatology, orthopaedics, gynecology, neurology. Analysis of the results obtained by different researchers, we conclude that the frequency-dependent response system for radiation characteristic only of living organisms. The biological effect is some time after the beginning of exposure. Biological effect of millimetre radiation depends on the phase of the biological object and the initial state of the body. The ability to use millimetre radiation is the result of the said actions radiation depending on the cause and nature of the disease the greatest therapeutic effect was observed when exposed to different frequencies body millimetre. The difference between action millimetre radiation is that irradiation of relatively large organisms its performance can affect organs far away from the place of exposure.

Keywords: EM radiation, biological objects, exposure, millimetre radiation, biological effect.

При оцінюванні ефектів взаємодії електромагнітного випромінювання з різними об'єктами, його поділяють на іонізуюче і неіонізуюче. До іонізуючого відносять випромінювання, квант енергії якого настільки великий, що призводить до розриву міжмолекулярних зв'язків або іонізації атому. Випромінювання з більшою довжиною хвилі і малою величиною кванту енергії відносять до неіонізуючого випромінювання. Але неіонізуюче випромінювання може мати і енергетичну дію на організм, коли корисний ефект досягається при переході енергії електромагнітного випромінювання в тепло (гіпертермія). Але можлива також дія електромагнітного випромінювання на організм, при якій підвищення температури незначне (до 0,1 °C) і воно не є головним фактором для досягнення корисного лікувального ефекту. В таких випадках мова йде про керуючу або інформаційну дію електромагнітного випромінювання низької або нетеплової інтенсивності. Ця властивість проявляється в міліметровому, субміліметровому та в верхньому діапазоні сантиметрових хвиль при малих значеннях густини потоку потужності, яка складає долі чи одиниці міліват на 1 см² поверхні яка опромінюється [1].

На сьогоднішній день низькоінтенсивне випромінювання в міліметровому діапазоні використовується як перспективний фізіотерапевтичний засіб при лікуванні різних захворювань в гастроентерології, онкології, травматології, ортопедії, гінекології, неврології [2]. Для більш детального вивчення впливу низькоінтенсивного міліметрового випромінювання варто провести ряд досліджень і з'ясувати ознаки порушення нормальної життєдіяльності опромінюваних організмів, апертуру опромінювання та знайти можливість покращення стабільності джерела випромінювання.

Низькоінтенсивна терапія має ряд особливостей, які обумовлюють її перевагу над іншими методами лікування:

1. Неінвазивність.
2. Можливість використання в якості монотерапії.
3. Практично повна узгодженість з медикаментозними методами лікування.
4. Відсутність алергій, небажаних ефектів та віддалених наслідків.
5. Полілікувальні ефекти, підвищення імунного статусу організму, зниження наслідків стресових дій на організм.

Взаємодія випромінювання з біоб'єктами може мати сильний частотно-залежний характер і добре відтворюватись. Частотна залежність за формою нагадує резонансну характеристику коливального контура, що підтверджено експериментальними дослідженнями на бактеріальних культурах і тваринах, коли звичайно спостерігалось багато резонансів, віддалених один від одного на 120–200 МГц [3].

На рис. 1 показана дія міліметрового випромінювання на кишкову паличку. Досліджувався вплив міліметрового випромінювання на функціональну активність генетичних елементів бактеріальних клітин. В якості тест-об'єкту була вибрана індукція білка колицину кишковою паличкою, яка приводить клітину до загибелі. Ефект оцінювався коефіцієнтом індукції K – відношенням процентного вмісту мікроорганізмів, які виділяють колицин, в опромінєній та неопромінєній культурах [3].

Як видно, відносні смуги частот, в яких коефіцієнт індукції досягав 2-3, спостерігаються при довжинах хвиль 6,5, 6,53 та 6,55 мм. Густина потоку потужності складала біля 5 мкВт/см², а оптимальний час опромінення 2-3 год.

Досліди по впливу ЕМ-випромінювання на синхронізацію поділу дріжджових клітин показали, що при однаковій початковій фазі поділу дія ЕМ-випромінювання довжиною хвилі 6,5 мм і густині потоку потужності 0,25 мВт/см на протязі 1 год підвищує синхронність поділу без будь-яких ознак початку розходження [4].

Аналіз результатів, отриманих різними вченими, дозволяє зробити висновок, що частотно-залежний (резонансний) відгук системи на опромінення характерний тільки для живих організмів.

Біологічні ефекти мають пороговий характер, який оцінюється потужністю, коли її порогова густина змінюється приблизно від 50 мкВт/см² до 10 мВт/см², причому, при опроміненні мікроорганізмів потужність менша, а тварин – більша [5].

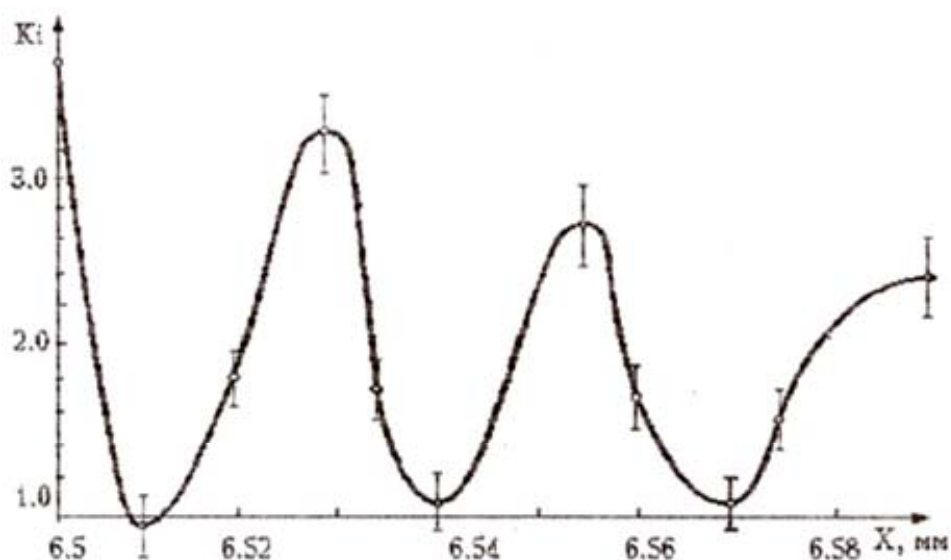


Рис. 1. Залежність коефіцієнта індукції K_i синтезу коліцину від довжини хвилі опромінення X [3]

Пороговий ефект можна проілюструвати рис. 2 [4]. Як відомо при дії тільки рентгенівського променя кількість клітин кісткового мозку зменшується відносно норми (N/K). Вплив додаткового ЕМ-опромінювання, починаючи з деякого порогового рівня (10 мВт/см²), спричиняє захист клітин мозку від наступного впливу рентгенівського випромінювання. При перевищенні порогу, величина ефекту залишається незмінною [4].

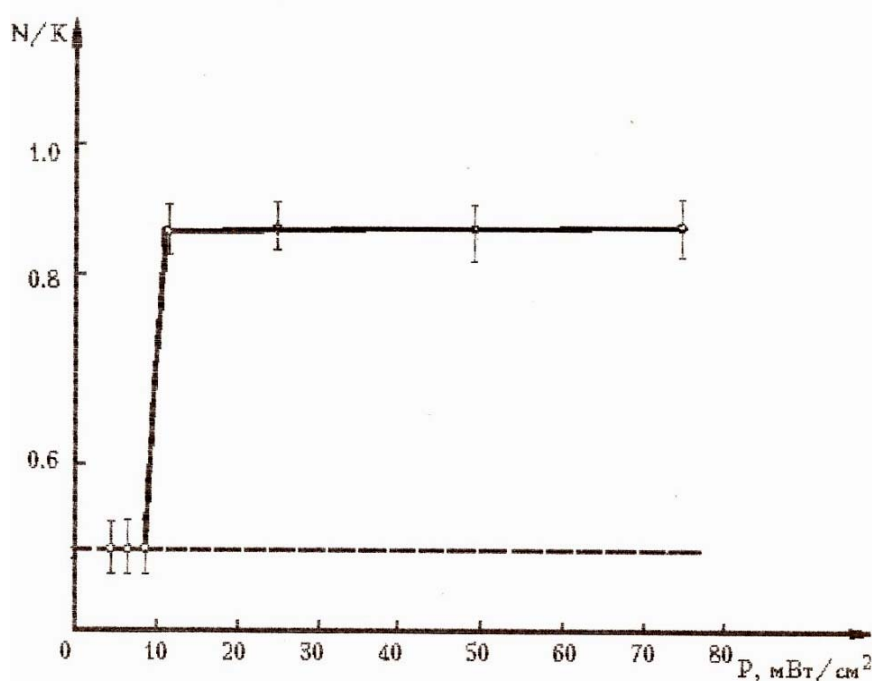


Рис. 2. Залежність зміни кількості клітин кісткового мозку при комбінованому впливі ЕМ та рентгенівського випромінювання [4]

Біологічний ефект проявляється через деякий час після початку опромінення. Оптимальний час опромінення – від 10–20 хвилин до 1–2 годин. Потім ефект, як правило, стабілізується.

При багаторазовому опроміненні через визначені проміжки часу (що для мікроорганізмів відповідає опроміненню багатьох поколінь) спостерігалась поява ознак опромінення через декілька сеансів [2]. Тобто, біологічний ефект носить кумулятивний характер. Інерційність відповіді на зовнішню дію взагалі, як правило, є типовою реакцією живого організму.

Біологічний ефект дії міліметрового випромінювання залежить від фази біологічного розвитку об'єкта і початкового стану організму. Якщо в початковому стані яка функція змінена відносно норми в декілька разів, то опромінюванням на відповідній частоті її можна підняти приблизно в ту ж кількість разів. На нормальне функціонування здорового організму опромінювання практично не впливає [2, 4, 6].

Можливість використання міліметрового випромінювання є наслідком вказаної залежності дії випромінювання від причини та характеру захворювання найбільший терапевтичний ефект спостерігається при дії на організм різними частотами міліметрового діапазону. В результаті відбувається відновлення організму, нормалізація його функцій, але не вихід за межі норми, тобто спостерігається найбільш бажаний для лікування ефект впливу [5].

В більшості випадків терапевтичний ефект досягається тільки за рахунок впливу випромінюванням – медикаментозні засоби при цьому не використовуються. Енергетична дія на організм практично відсутня, а результат впливу випромінювання пов'язаний з мобілізацією власних сил організму для боротьби з хворобою.

Одна з цікавих відмінностей дії міліметрового випромінювання полягає в тому, що при опроміненні відносно великих організмів його дія може вплинути на органи, значно віддалені від місця опромінювання. Не всі ділянки поверхні тіла людини та тварин однаково чутливі до опромінення, але приблизно однаковий ефект можна отримати при опроміненні різних ділянок тіла [7, 8].

Висновки. По-перше, мають існувати ознаки порушення нормальної життєдіяльності опромінюваних організмів, а їх початкові стани в експерименті мають бути приблизно однаковими. Небажано використовувати потоки з потужностями, густина яких близька до порогового значення (орієнтовні данні можуть бути отримані з дослідів над аналогічними об'єктами), так як при зміні умов відбивання від поверхні, опромінювання стає неефективним.

По-друге, оскільки не всі точки поверхні тіла однаково чутливі до міліметрового випромінювання, бажано використовувати опромінювання з апертурою біля 2 см², для того, щоб мінімальна кількість чутливих до випромінювання точок, попала в зону опромінення, яка зберігається незмінною.

По-третє, модуляція частоти опромінення в невеликих межах (50 МГц) біля резонансних частот дозволяє знизити вимоги до стабільності частоти джерела випромінювання. Необхідно підтримувати однакову тривалість опромінення, яка виявляється значною – від декількох десятків хвилин до декількох годин. Саме при такій тривалості опромінювання організму в ньому формується та «запам'ятовується» ефект впливу.

Література

1. Доровских С. Н. Информационно-волновые методы коррекции нарушений регуляторных функций в живых организмах / С. Н. Доровских, А. А. Разживин // Зарубежная радиоэлектроника. – 1996. – № 12. – 93 с.
2. Бецкий О. В. Миллиметровые волны в биологии и медицине / О. В. Бецкий, В. В. Кислов // Радиотехника и электроника. – 1993. – № 10. – 142 с.
3. Бецкий О. В. Миллиметровые волны в биологии / Бецкий О. В. – М. : Знание, 1988. – 64 с.
4. Бецкий О. В. Волны и клетки / О. В. Бецкий, В. В. Кислов – М. : Знание, 1990. – 64 с.
5. Бецкий О. В. КВЧ-терапия / О. В. Бецкий // Радио, 1993. – № 10. – С. 5–11.
6. Бецкий О. В. Миллиметровые волны низкой интенсивности в биологии и медицине / О. В. Бецкий, В. В. Кислов, Н. Д. Девятков // Зарубежная радиоэлектроника. – 1996. – № 12.
7. Воропаев С. Ф. Динамика спектральных параметров электрической активности рефлексогенных зон при терапии электромагнитным излучением крайневисоких частот / С. Ф. Воропаев // Вестник новых медицинских технологий. – 1996. – Т. 3, № 4. – С. 45, 46.
8. Грушевой А. Г. Зависимость лечебного эффекта микроволновой резонансной терапии от различных режимов работы аппаратов / А. Г. Грушевой, А. А. Резаев // Вестник новых медицинских технологий. – 1996. – Т. 3, № 4. – С. 46, 47.

Рецензія/Peer review : 22.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 15.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Кичак В.М.

ОГЛЯД НОРМАТИВНО-ПРАВОВИХ ДОКУМЕНТІВ З ВИЗНАЧЕННЯ БІОЛОГІЧНО-БЕЗПЕЧНОЇ ДЛЯ НАСЕЛЕННЯ ЗОНИ ВИПРОМІНЮВАННЯ АНТЕНИ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

У статті розглядаються проблеми правового регулювання розміщення базових станцій систем мобільного зв'язку в рамках реалізації права населення на безпечне для життя і здоров'я навколишнє середовище. Було сформульовано пропозиції з удосконалення вітчизняних документів про захист населення від негативного впливу електромагнітного випромінювання базових станцій мобільного зв'язку.

Ключові слова: нормативно-правові документи, базові станції мобільного зв'язку, біологічно-безпечні зони.

O.V. BONDARENKO, L.I. STEPANOVA

Odessa National O.S. Popov Academy of Telecommunications

REVIEW OF THE LEGAL DOCUMENTS FOR DETERMINATION THE BIOLOGICALLY-SAFE ZONE OF ANTENNA RADIATION MOBILE COMMUNICATION BASE STATIONS

In the article the problems of legal regulation of base stations location of mobile communication as part of the public right to a safe and healthy environment are considered. The work shows that the current scope and content of legal documents on the establishment, operation and calculation parameters of base stations (BS) are quite diverse, contradictory and requires a unified systematization within a single national legal concept of the communications sector. It is shown that the studies that point out the fact of the negative impact of BS electromagnetic radiation on the human body, show the need to establish a clear mechanism of commissioning of base stations and control the radiation reference levels to assess the impact on public health.

Key words: legal documents, the base stations of mobile communication, bio-safe area.

Постановка задачі

За останнє десятиліття спостерігається стрімкий прорив в розвитку технічних засобів мобільного зв'язку та внаслідок чого відбулися серйозні зміни в ставленні людства до можливого небезпечного впливу від них. Це спричинило прийняття цілої низки змін та появи нових нормативно-правових документів в даній галузі, в першу чергу, з біологічної безпеки населення, що знаходиться в зоні випромінювання антен базових станцій (БС) мобільного зв'язку (МЗ). Крім того, правова система розміщення об'єктів і надання послуг мобільними операторами, яка існує в країні, все ще потребує серйозних вдосконалень.

Аналіз досліджень та публікацій

Аналіз наявної літератури [1, 2, 3, 4] свідчить про відсутність повних комплексних досліджень у цій галузі. Окремі фрагменти цих досліджень розглядалися в роботах Б.В. Киндюка, В.Н. Орлова, А.А. Петровського, Т.Б. Саркісової та інших авторів. Слід зазначити, що в цілому наявні дослідження приведених авторів мають розрізнений характер і потребують систематизації.

Мета роботи

Метою даної статті є дослідження наявного стану нормативно-правових документів з визначення біологічно-безпечної для населення зони випромінювання антени базової станції мобільного зв'язку за законодавством України та ЄС.

Огляд нормативно-правових документів за даним питанням

В основі роботи мобільного зв'язку лежить принцип стільника: територія поділена на зони, радіусом до 1 км, кожна з яких обслуговується окремою БС. Антени станцій випромінюють радіочастотну електромагнітну енергію, яка при певних умовах впливає на людський організм. Наразі, за оцінками різних фахівців, в Україні діють понад 25 тисяч БС, які, в більшості випадків, розташовані в населених пунктах безпосередньо в зоні житлової та громадської забудови. Це обумовлює необхідність правового регулювання установки й функціонування базових станцій.

Розгляд правових основ підготовки до роботи станцій мобільного зв'язку (СМЗ) необхідно проводити в чотири етапи. Перший – це правова документація, що регулює установку СМЗ. Другий – це правове забезпечення функціонування СМЗ. Третій – правове регулювання контролю роботи СМЗ відповідними організаціями [1]. Четвертий етап – введення в експлуатацію – проводиться спеціально створеною державною приймальною комісією. Під час прийняття об'єкта в експлуатацію ця комісія перевіряє його відповідність стандартам за такими позиціями [4]:

- відповідність затверджену проекту;
- відповідність санітарним, протипожежним та екологічним вимогам;
- відповідність виконаних будівельно-монтажних робіт вимогам нормативної документації;
- відповідність результатів проведених індивідуальних і комплексних випробувань устаткування нормативним показникам;
- відповідність виробничої документації нормативним вимогам.

Акт прийняття в експлуатацію підписують усі члени комісії, і тоді об'єкт може бути введено в

загально-технічний режим роботи.

На жаль, правова регламентація цього четвертого етапу проведення робіт зазнала багатьох змін. Так, до 2009 р. основним нормативно-правовим документом був наказ Міністерства транспорту та зв'язку України № 180 від 27 лютого 2006 р. «Про затвердження порядку прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів у сфері телекомунікації» [5]. Регламентований даним документом порядок так само не відповідав реаліям життя.

До організацій, що контролюють роботу СМЗ, входять:

- 1) Державна санітарно-епідеміологічна служба (СЕС);
- 2) Міністерство надзвичайних ситуацій;
- 3) Держгірпромнагляд;
- 4) Український Державний центр радіочастот «УДЦР»;
- 5) Держархбудінспекція.

Нагляд за відповідністю санітарним, протипожежним та екологічним вимогам виконує Державна санітарно-епідеміологічна служба. Основним нормативно-правовим документом є наказ МОЗ України № 239 від 1 серпня 1996 р. «Державні санітарні норми й правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» [6].

До 2009 року СЕС використовувала методичні вказівки [7] для розрахунку біологічно-безпечної зони для населення від впливу електромагнітних випромінювань (ЕВ).

В 2009 році, у зв'язку з євроінтеграцією України, були прийняті нові національні стандарти України [8, 9, 10] на основі європейських. Відповідно до цих стандартів потрібно застосовувати встановлені в Рекомендації Ради 1999/519/ЕС [11] відповідні норми дії радіочастотних полів на широкий загал такі як базові граничні або контрольні рівні, а також умови одночасної дії полів багатьох частот.

Контрольні рівні ЕВ, що діють на населення – це рівні, призначені для порівняння з величинами дії полів БС МЗ у повітряному середовищі. Дотримання контрольних рівнів ЕВ станцій МЗ забезпечить дотримання базових граничних рівнів дії ЕВ на населення. У діапазоні частот від 10 МГц до 300 ГГц контрольні рівні ЕВ виражають величинами напруженості електричного поля (E), напруженості магнітного поля (H) та густини потужності (S).

Базові граничні рівні ЕВ – це граничні рівні, які обмежують дії змінних електричних, магнітних і електромагнітних полів, що, як відомо, безпосередньо впливають на здоров'я людини. Залежно від частоти поля для визначення граничних рівнів ЕВ застосовують такі фізичні величини – густина електричного струму (J), питома потужність поглинання випромінювання (SAR) і густина потужності (S).

Допустимі норми дії електромагнітних полів на широкий загал, що встановлені в Рекомендації Ради 1999/519/ЕС [11], наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Допустимі норми дії електромагнітних полів на населення

Базові граничні рівні				
Діапазон частот	Усереднена SAR усього тіла, Вт/кг	Локалізована SAR (голова і тулуб), Вт/кг	Локалізована SAR (кінцівки), Вт/кг	Густина потужності S , Вт/м ²
Від 10 МГц до 10 ГГц	0,08	2	4	-
Понад 10 ГГц до 300 ГГц	-	-	-	10
Контрольні рівні				
Діапазон частот	Напруженість Е-поля, В/м	Напруженість Н-поля, А/м	Густина магнітного потоку В, мкТл	Еквівалентна густина потужності плоскої хвилі S , Вт/м ²
Від 10 МГц до 400 МГц	28	0,073	0,082	2
Від 400 МГц до 2 ГГц	$1,375f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	$0,0046f^{1/2}$	$f/200$
Від 2 ГГц до 300 ГГц	61	0,16	0,20	10
Примітка. f – частота, значення якої наведено в стовпці «Діапазон частот», використовується в ГГц.				

Величини, які наведені в табл. 1 розраховуються за наступними формулами, наведеними в стандарті [10]

$$SAR = \frac{\sigma \cdot E^2}{\rho}, \quad (1)$$

де SAR – питома потужність поглинання випромінювання тілом людини, Вт/кг;
 σ – питома електрична провідність тканини тіла людини, См/м;

E – середньоквадратичне значення напруженості електричного поля в тканині тіла людини, В/м;
 ρ – густина тканини тіла людини, кг/м³.

Густина потужності S за стандартом визначається як потужність випромінювання, яке надходить перпендикулярно до поверхні тіла, поділеної на окремі ділянки поверхні, виражається у Вт/м² [10]

$$S = \frac{E^2}{377}, \quad (2)$$

де E – середньоквадратичне значення напруженості електричного поля в тканині тіла, В/м;
 377 – хвильовий опір середовища Z_c , Ом.

Аналіз останнього стандарту показав, що він не досконалий, тому що густина потужності розраховується згідно з формулою справедливою для дальньої зони антени, але, як було показано у [12], розрахунок треба робити в урахуванням всіх компонент поля в ближній зоні. А також формула розрахунку SAR не враховує особливості кожної людини (наприклад вагу, зріст та інше) і не зрозуміло чи повинно бути в антени БС тільки одне значення SAR. Якщо так, то чому, бо в роботі [13] наведено залежність SAR від відстані між антеною і людиною. Як ми бачимо, методики і стандарти ставлять багато питань, але не має жодних пояснень до них.

Але, від нещодавно, 30 грудня 2015 року, згідно [14], в Україні БС припинили відноситися до об'єктів, які створюють підвищену екологічну небезпеку. Це вносить ряд неузгодженостей між вимогами існуючих нормативних документів, тому що вже існуючі стандарти ніхто не відмінює. Також не зрозуміло на якій підставі було вилучено БС зі списку небезпечних об'єктів для здоров'я людини.

Таким чином, сфера правових відносин у цій галузі є досить широкою й регулюється великою кількістю підзаконних актів, що свідчить про відсутність національної правової концепції розвитку галузі.

Існують також національні та міжнародні рівні безпеки по впливу на людей ЕВ, виробленого антенами БС МЗ. Найбільш широко поширені стандарти розроблені Інститутом Електричної і Інженерної Електроніки і американським національним Інститутом Стандартів (ANSI / IEEE), міжнародної Комісією із захисту від неіонізуючої радіації (ICNIRP), і національним Радом з Променевої Захисту і вимірювання (NCRP) [15].

Міжнародні стандарти впливу ЕВ на населення, так само як і останні вітчизняні прийняті стандарти [8, 9, 10], регламентують напруженість ЕВ, усереднену за відносно короткі періоди часу (6 хвилин в разі ANSI/ IEEE, NCRP, і FCC стандартів на частотах БС). У разі, якщо є багатоеlementні антени, ці стандарти регламентують повну енергію, вироблену всіма антенами. Вплив ЕВ може бути небезпечним, якщо воно досить інтенсивне. Можливі пошкодження включають опіки шкіри, виснаження, високу температуру і тепловий удар. І хоча в наукових дослідженнях під егідою ВОЗ зазначається, що на сьогодні відсутні переконливі докази негативного впливу електромагнітних полів на тривалість життя чи спричинення невиліковних захворювань, у той же час у цих же документах [16] наголошується на потребі подальших досліджень у цій галузі або сфері.

Взагалі майже всі стандарти та нормативні документи з впливу ЕВ на населення дуже важко знайти, тому що вони знаходяться практично у закритому доступі. Але після досконалого аналізу і різних результатів розрахунків SAR та S, наведених в роботах [12, 13], згідно деяких методик, які вдалося знайти, виявилось, що вони не досконалі і потребують більш точних результатів розрахунків. Це настійно вимагає подальших наукових досліджень в цій галузі. Наприклад, в роботі [12], розрахунок біологічно-безпечної зони за застарілою методикою і запропонованою автором виявлено різницю результатів розміру санітарно-захисної зони поблизу антени в 2 рази і більше.

З огляду на зазначене виникає потреба у виваженій політиці держави щодо визначення порядку та умов розміщення БС на території життєдіяльності населення, а отже і щодо визначення біологічно-безпечної зони для населення.

Висновки

Провівши огляд нормативно-правової бази з визначення біологічно-безпечної для населення зони випромінювання антени базової станції мобільного зв'язку можна зробити такі висновки:

1. Сучасний обсяг та зміст нормативно-правових документів щодо встановлення, функціонування та розрахунку параметрів БС МЗ є досить різноманітний, суперечливий та потребує єдиної систематизації в рамках єдиної національної правової концепції розвитку галузі зв'язку.

2. Проведені дослідження, які відзначають наявність факту негативної дії ЕВ антен БС на тіло людини, доводять необхідність створення чіткого механізму введення в експлуатацію базових станцій, а також контролю контрольних рівнів випромінювання з метою оцінки впливу на здоров'я населення.

3. Усе вищесказане потребує подальших наукових досліджень електромагнітних характеристик поля поблизу антени БС МЗ з метою встановлення переконливих доказів негативного впливу ЕВ на тіло людини.

Отже, можна запропонувати систематизувати всі правові документи в галузі контролю за ЕВ антен БС та затвердити один єдиний документ, який буде регулювати правові відносини в галузі встановлення антен БС.

Література

1. Киндюк Б.В. Правове регулювання роботи базових станцій мобільного зв'язку / Б. В. Киндюк // *Право і Безпека*. – 2009. – № 5. – С. 167 – 169.
2. Ефективність управління підприємством в галузі зв'язку : [навчальний посібник] / В.М. Орлов, І.В. Яцкевич, С.С. Новицька, Н.Ю. Потапова-Сінько. – Одеса, 2013. – 186 с.
3. Петровський А.А. Исследование структуры ближнего поля антен базовых станций подвижной связи дециметрового диапазона и вопросы взаимного влияния : дис. ... кандидата техн. наук / Петровський А.А. – Москва, 2001.
4. Саркісова Т.М. Правові засади розміщення базових станцій систем стільникового зв'язку / Т.М. Саркісова // *Адміністративне право і процес*. – 2015. – № 1 (11). – С. 350 – 356.
5. Про затвердження порядку прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів у сфері телекомунікації [Електронний ресурс] : наказ Міністерства транспорту та зв'язку України № 180 ; чинний від 27.02.2006 р. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0520-06>.
6. ДСН 239-96. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань : [затв. МОЗ України 01.08.1996, нак. № 239]. – 25 с.
7. Методичні вказівки щодо визначення рівнів електромагнітного поля і меж санітарно-захисної зони і зони обмеження забудови в місцях розміщення засобів телебачення та ЧМ-радіомовлення № 3860-85. – М. : МОЗ СРСР, 1985. – 36 с.
8. ДСТУ EN 50401:2009. Радіостанції систем з радіодоступом базові. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 10 с.
9. ДСТУ EN 50400:2007. Радіостанції систем з радіодоступом базові. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 11 с.
10. ДСТУ EN 50385:2007. Радіостанції систем з радіодоступом базові та стаціонарні кінцеві. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 6 с.
11. Council Recommendation on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz) 1999/519/EC//OJ L 199 30.07.99. – p. 59.
12. Бондаренко О.В. Методика расчета и построения санитарно-защитной зоны и зоны ограничения застройки антенны базовой станции мобильной связи / О.В. Бондаренко, Л.І. Степанова // *Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах»*. – Хмельницький, 2016. – Вип. № 1. – С. 226 – 230.
13. Protsenko M.B. Interaction of model human head with the antenna of the mobile terminal / M. B. Protsenko, L.I. Stepanova, O.O. Perley, V.G. Ishchenko // *Proc. of X-th International Conf. «Antenna Theory and Techniques (ICATT)»*. – Kharkiv, Ukraine. – 21 – 24 Apr. 2015. – P. 261 – 263.
14. Про внесення зміни до пункту 26 переліку видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку [Електронний ресурс] : постанова КМУ № 1160 від 30.12.15. – Київ, 2015. – Режим доступу : <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1160-2015-%D0%BF>.
15. IEEE Std C95.1, 1999. IEEE Standart for safety levels with respect for human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3kHz to 300 GHz. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, etc. New York, USA.
16. Implementation report on the Council Recommendation limiting the public exposure to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz). URL : <http://ec.europa.eu/health>.

Рецензія/Peer review : 13.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 15.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Лісовий І.П.

В.С. ПАСТУШЕНКО, А.А. СТОПАКЕВИЧ

Одесский национальный политехнический университет

А.А. СТОПАКЕВИЧ

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В МЕТАНОЛ И СИСТЕМЫ ЕГО АВТОМАТИЗАЦИИ

Рассмотрено использование подхода к проектированию технологического процесса утилизации углекислого газа в метанол, при котором интегрируются задачи моделирования статистики и динамики технологического процесса на основе универсальных пакетов технологического моделирования с задачами синтеза системы автоматического управления.

Ключевые слова: углекислый газ, метанол, технологический процесс, система управления, проектирование.

V.S. PASTUSHENKO, A.A. STOPAKEVICH

Odessa National Polytechnic University

A.A. STOPAKEVICH

O.S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications

INFORMATION COMPUTER SYSTEM FOR DESIGN OF RECYCLING CARBON DIOXIDE IN METHANOL TECHNOLOGICAL PROCESS AND ITS CONTROL SYSTEM

A concept of an integrated approach to the development of the methanol production process based on utilization of carbon dioxide obtained from boilers and the power plants, as well as the automation of this technological process is considered. The basic contradictions of the methanol production technological process are analyzed from the perspective of an integrated approach. A list of the main tasks that need to be solved is formulated. The capabilities of existing software for the solution of the problem are analyzed. The main difficulties that may arise with the accuracy and adequacy of the implementation and settlement problems of mathematical modelling are spotlighted. It is shown that the solution of all tasks, in relation to the methanol production technological process, requires a certain combination of universal package technology simulation, specialized software and mathematical packages.

Keywords: carbon dioxide, methanol, technological process, control system, design

Постановка проблемы. Утилизация углекислого газа котельных и ТЭС в горючее, которое можно повторно использовать, является актуальной проблемой энергетики и экологии Украины. Продуктом, который позволяет эффективно утилизировать углекислый газ, является метанол. В последнее время метанол все чаще используется и в качестве топлива для ТЭС, и как моторное топливо, заместитель автомобильного бензина. Из-за высокого октанового числа метанол часто используется в двигателях гоночных автомобилей.

Нерешенные задачи. Самый современный каталитический процесс утилизации углекислого газа в производство метанола имеет следующий вид: смесь углекислого газа и водорода подается в смеситель, нагревается в теплообменнике отходящими газами и попадает в реактор синтеза (РС). Продукты синтеза охлаждаются в холодильнике, сконденсированный метанол собирается в сепараторе, а непрореагировавший газ смешивается со свежим газом (рецикл) и снова направляется в реактор синтеза. Метанол-сырец из сепаратора подается в ректификационную колонну (РК), верхним продуктом которой является товарный метанол. Однако, для расчета процесса и его подстройки под практически бесплатные выбросы углекислого газа тепловых станций и котельных, необходимо иметь инструмент расчета регламента технологического процесса (ТП), параметров оборудования и системы автоматического управления (САУ). Подход, связанный с одновременным расчетом оборудования и системы управления, назовем интегрированным. Для реализации такого подхода требуется осуществить выбор соответствующего программного обеспечения (ПО).

Анализ литературы. Сейчас доступен ряд видов ПО, с помощью которого можно осуществить интегрированный подход. Это Aspen HYSYS [1], Aspen Plus [2], UniSim [3], ChemCAD [4], Pro-II [5], COCO [6]. Из перечисленных пакетов полнофункциональными, т.е. позволяющими моделировать весь цикл от конструктивного расчета технологических аппаратов до моделирования динамики технологических процессов в них, являются только первые четыре. В ПО Aspen Plus максимально широко представлены возможности для моделирования сложных случаев ректификации, сделан акцент на точность моделирования технологических аппаратов. Преимуществом ПО ChemCAD является удобство работы и отсутствие разделения режимов статистики и динамики (что позволяет избежать повторных операций преобразования моделей). Преимуществом ПО HYSYS является внимание к взаимодействию технологических аппаратов в схеме, точность моделирования технологических аппаратов, наличие развитых интерфейсов для взаимодействия с другими программами, удобный пользовательский интерфейс. UniSIM – это ПО, базированное на лицензированном коде HYSYS, адаптированное под технические средства автоматизации и программное обеспечение компании Honeywell. В последние несколько лет возможности расчета и моделирования в Aspen Plus и Aspen HYSYS сближаются, поскольку ими теперь занимается одна

компания. Таким образом, анализ приведенной литературы показывает, что наилучшим образом для интегрированного расчета технологического процесса производства метанола подходит ПО Aspen HYSYS.

Цель статьи. В статье разработана методика использования такого подхода к расчету технологического процесса производства метанола, при котором на основе универсальных пакетов технологического моделирования (УПТМ) интегрируются задачи расчета режима ТП, моделирования статике и динамики ТП и синтеза системы автоматического управления.

Основное содержание. Интегрированный подход позволяет выявить и преодолеть следующие противоречия, возникающие в процессе расчета ТП и САУ ТП:

- между достижением оптимальности рабочего режима каждого агрегата и оптимальностью всего ТП, включающего рециркулирующие потоки,
- между достижением оптимальности технологического расчета и оптимальностью управления с точки зрения разработчика системы автоматизации,
- между удобством использования линейных математических моделей и регуляторов при построении САУ и нелинейным поведением реальных технологических объектов.

Обобщенная схема действий в рамках разработанной методики интегрированного подхода показана в виде диаграммы процесса разработки (BPMN), приведенной на рис. 1.

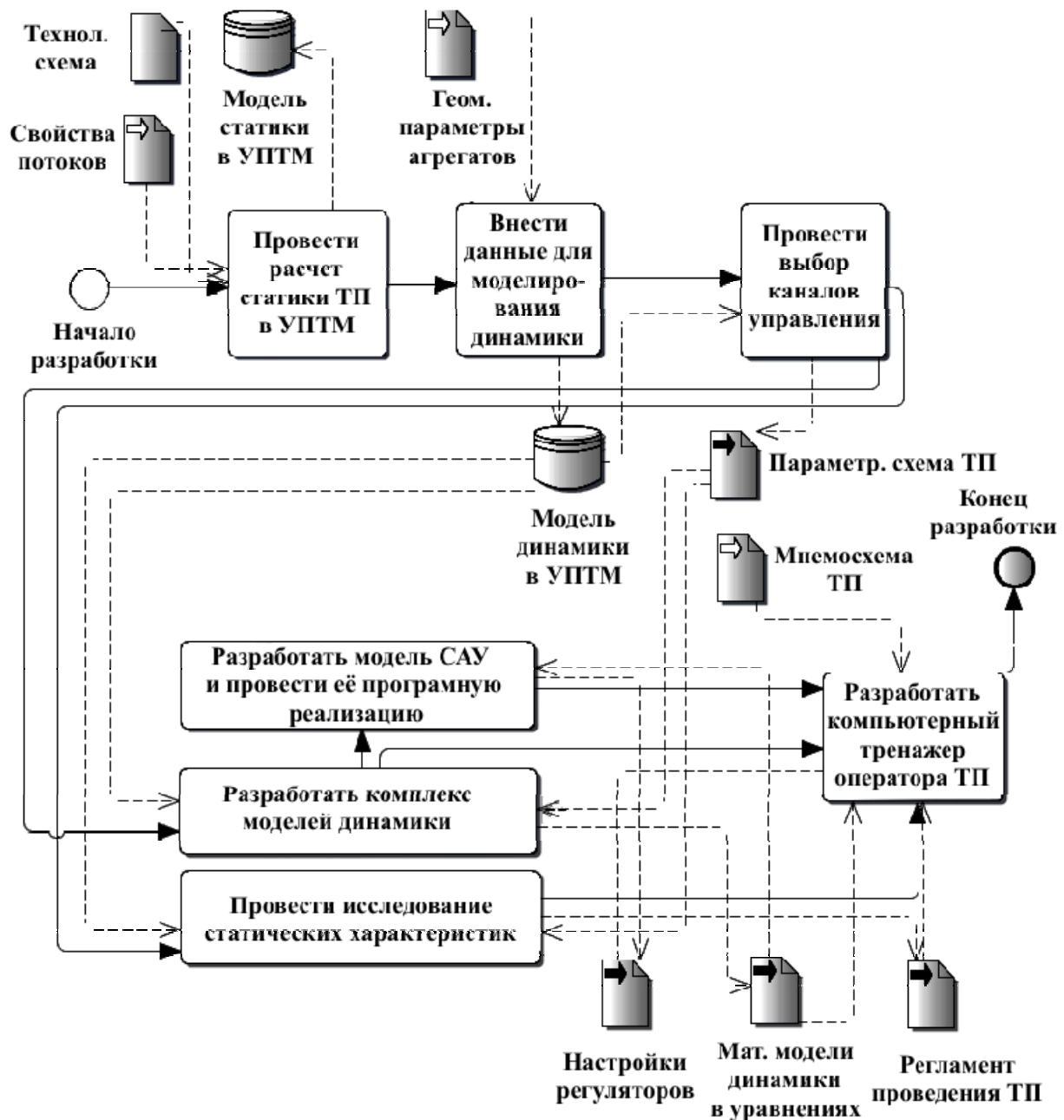


Рис. 1. BPMN-диаграмма процесса разработки с использованием интегрированного подхода

ТП производства метанола включает два сложных и ответственных технологических агрегата – реактор синтеза (РС) и ректификационную колонну (РК). Вспомогательными агрегатами являются

теплообменники и сепаратор.

Задача управления РС в рабочем режиме может быть удовлетворительно решена с помощью ПИД-регулирования температуры или концентрации. Математическая модель канала в рабочем режиме в таком случае может быть с достаточной точностью описана как передаточной функцией второго порядка, так и первого порядка с запаздыванием. Однако диапазон адекватности такой линейной модели сравнительно мал в силу экспоненциальной зависимости скорости реакции от температуры в реакторе. Поэтому САУ на базе ПИД-регулятора не достаточно хорошо справляется с возмущениями [7]. В рассмотренном ТП проблема усугубляется наличием рециркулирующего потока, который приводит к постоянному изменению концентрации поступающей в реактор смеси, что увеличивает требования к системе управления. Компенсация возмущения по концентрации в силу нелинейности статической зависимости выходной концентрации и температуры от входной в первую очередь должна решаться на этапе технологического расчета. Это возможно путем изменения физических размеров реактора и/или добавлением дополнительных смесителей, которые стабилизируют входную концентрацию агрегатов. Таким образом, для достижения управляемости при расчете ТП необходимо определить оптимальную величину рецикла и концентрации, геометрические размеры реактора, а также запас расхода хладагента, чтобы САУ реактора способна была справиться с возмущениями.

Применительно к бинарной РК для метанола-сырца указанное противоречие проявляется в проблеме выбора количества тарелок, номера питающей тарелки, способа обогрева, от чего зависит экономическая эффективность ТП и качество очистки конечного продукта. Известно, что в терминах модели первого порядка с запаздыванием, увеличение количества тарелок приводит к увеличению постоянной времени и времени запаздывания в каналах объекта, связанных с концентрацией, температурой и давлением [8], что делает объект не только более инерционным в терминах линейных моделей, но и более управляемым с точки зрения разработки систем управления из-за большего интервала линейности в статических характеристиках.

Задача выбора номера питающей тарелки как показано в [9] тесно связана с возможностью системы управления справляться с различными возмущениями. Для рассматриваемой РК критически важным параметром является концентрация верхнего продукта (товарного метанола), потери метанола в нижнем продукте менее критичны. Для этого случая в работе [9] показано, что для наиболее легкого поддержания концентрации верхнего продукта питающую тарелку необходимо размещать ближе к верху РК, что позволяет более легко компенсировать возмущения, как по расходу, так и по концентрации питания. Это объясняется неравномерным распределением жидкости на тарелках в реальной РК, что обычно не учитывается в классических технологических расчетах РК и не отображается во многих математических моделях динамики РК, которые описывают динамику потарелочно.

Отдельно стоит отметить, что задача выбора переменных системы управления РК при использовании децентрализованных регуляторов ПИД-семейства также не относится к классу однозначно решаемых. Можно выделить три подзадачи при такой постановке: управление уровнями и давлением, управление концентрациями и управление температурным режимом. В работе [10] приведено обобщение большинства правил и рекомендаций. Отдельное решение задачи управления уровнями с помощью управления отбором продуктов РК не приводит к получению достаточно точной системы управления. Решение всех подзадач часто сводится к вычислительно сложной оптимизационной задаче поиска минимум 8-10 настроек регуляторов (для децентрализованной системы с 4-5 ПИ-регуляторами), по причине сильного взаимного влияния каналов друг на друга, особенно в РК, рассчитанных оптимально с точки зрения типовых критериев технологических расчетов. Альтернативой является использование многомерных регуляторов, задача синтеза которых тем не менее также требует внимание к вопросам точности моделирования и робастности [11].

С точки зрения интегрированного подхода, применительно к ТП производства метанола, необходимыми требованиями к УПТМ являются:

- 1) возможность адекватного расчета статики ТП,
- 2) наличие удобного интерфейса для межпрограммного взаимодействия,
- 3) возможность оптимизации параметров отдельных технологических агрегатов,
- 4) возможность симуляции динамики технологического процесса с целью получения

математических моделей динамики и тестирования работы САУ, SCADA-систем, компьютерных тренажеров.

Адекватность расчета статики зависит от трех факторов:

- наличие точной базы данных параметров химических компонентов и их связей,
- возможность использовать подходящее уравнение состояния,
- наличия точных математических моделей технологических агрегатов.

Применение интегрированного подхода к теплообменным аппаратам разработано нами в работе [12]. Разработанный алгоритм и программное обеспечение показывает, что использование специализированных математических пакетов и специализированного программного обеспечения достаточно для расчета оптимальных конструктивных параметров теплообменника и расчета робастной САУ его температурным режимом.

Применение УПТМ HYSYS для технологического расчета параметров химического реактора

позволяет получить достаточно точные результаты с минимальным количеством исходных параметров. В работе [13] показано, что в Aspen Plus и HYSYS, при наличии ряда экспериментальных данных, можно достичь практически полного совпадения модели с поведением реактора.

Математические модели РК в пакете HYSYS позволяют учесть как сложные варианты процессов ректификации, так и рассчитать бинарную РК метанола-сырца. В работе [14] показано, что модификация Соаве уравнения состояния Редлиха-Квонга (SRK) достаточно точно подходит для представления термодинамических параметров метаноловых смесей. Использование при моделировании метанольной РК этого уравнения с точными исходными в УПТМ HYSYS дает отличные результаты.

УПТМ достаточно совместима с программным интерфейсом межпрограммного взаимодействия CAPE-Open. Также взаимодействие возможно с помощью технологии ActiveX Automation и DDE. Наличие указанных программных интерфейсов позволяет легко реализовывать их взаимодействие со специализированными математическими пакетами (СМП), такими как Matlab и SciLab, а также с программным обеспечением, написанным на языках общего назначения ОС Windows и офисными пакетами.

Хотя рассмотренные пакеты технологического моделирования имеют встроенные языки программирования, для решения задач интегрированного подхода иногда лучше их использовать в сочетании с специализированным программным обеспечением и со специализированными математическими пакетами. Так, при расчете РК пакет Chemser автоматически способен решить задачу поиска оптимального количества тарелок, номера питающей тарелки, флегмового числа, требуемые давления конденсатора и ребойлера. Эти исходные данные можно затем использовать в HYSYS для проверки возможности достичь требуемой концентрации продукта при условии более точного моделирования процессов разделения, в том числе учитывающего ряд конструктивных особенностей РК (геометрические размеры, тип тарелок, температура производственного помещения и т.п.). СМП при взаимодействии с УПТМ могут быть использованы для решения задач построения моделей статики конкретных ТП, оптимизации параметров технологических объектов с использованием оптимизационных алгоритмов, трудно реализуемых в языках программирования общего назначения.

Отличительной возможностью УПТМ HYSYS является симуляция динамики ТП. Результаты сравнительного анализа версии УПТМ HYSYS десятилетней давности показывают достаточно близкие, хотя и не полностью совпадающие, результаты симуляции динамики и реального поведения РК [15,16]. Кроме того, УПТМ HYSYS позволяет проводить симуляцию в реальном времени с указанным коэффициентом ускорения, что позволяет путем разработки несложного дополнительного программного обеспечения, обеспечивать его взаимодействие с пакетом Simulink, SCADA-системами, компьютерными тренажерами, ПЛК и т.п. А это, в свою очередь, позволяет избежать проблем, которые могут возникнуть из-за использования некачественных алгоритмов, неточных преобразований сигналов и т.п. Проявятся такие недостатки могут только в момент наладки системы автоматизации на реальном производстве, что не является приемлемым.

Выводы. Сформулирована методика и программное обеспечение интегрированного подхода к расчету технологического процесса производства метанола на основе утилизации углекислого газа котельных и ТЕС, а также автоматизации указанного ТП. Проведен анализ основных противоречий ТП производства метанола с точки зрения интегрированного подхода. Проведен анализ возможностей существующих программных средств для осуществления такого подхода. Показаны основные трудности, которые могут возникнуть с точность и адекватностью выполнения расчетных задач и математического моделирования. Показано, что для решения всех поставленных задач, применительно к ТП производства метанола, необходимо определенное сочетание универсального пакета технологического моделирования HYSYS, специализированного программного обеспечения и математических пакетов.

Литература

1. Кузнецов О.А. Основы работы в программе Aspen Hysys / О.А.Кузнецов. – М. : Директ-Медиа, 2015. – 153 с.
2. Luyben W. Distillation design and control using Aspen Plus simulation / W.Luyben. – Hoboken, N.J. : Wiley, 2013. – 489 p.
3. UniSim design dynamic modelling. Reference guide. – London : Honeywell, 2005. – 226 p.
4. Зиятдинов Н.Н. Математическое моделирование химико-технологических систем с использованием программы ChemCAD / Н.Н.Зиятдинов. – Калининград : КГТУ, 2008. – 159 с.
5. Шибитова Н.В. Моделирование и расчет процесса ректификации с использованием программы Pro-II / Н.В. Шибитова, Н.С. Шибитов // Известия ВолгГТУ. – 2011. – Т. 1. – № 4. – С. 118–120.
6. Baten J. Flowsheting for free with COCO / J. Baten, H. Kooijman, R. Taylor. – Delft, Netherlands : Cache news, 2007.
7. Upadhyay R. Analysis of CSTR Temperature Control with Adaptive and PID Controller (A Comparative Study) / R. Upadhyay, R. Singla // IACSIT International Journal of Engineering and Technology. – 2010. – Vol. 2, No. 5. – P. 453–458.
8. Мандельштейн М.Л. Автоматические системы управления технологическим процессом брагоректификации / М.Л. Мандельштейн. – М. : Пищевая промышленность, 1975.

9. Cantrell J. Effect of Feed Characteristics on the Controllability of Binary Distillation Columns / J. Cantrell, T. Elliott, W. Luyben // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 1995. – No. 34(9). – P. 3027–3036.
10. Skogestad S. The Dos and Don'ts of Distillation Column Control / S. Skogestad // *Chemical Engineering Research and Design.* – 2007. – No.1 (85). – P. 13–23.
11. Стопакевич А. Разработка робастной системы управления колонной атмосферной перегонки нефти / А. Стопакевич // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий.* – 2015. – № 2 (77). – С. 49–57.
12. Стопакевич А. Разработка модели и программных средств для создания робастной системы управления теплообменником / А. Стопакевич // *Автоматизація технологічних і бізнес-процесів.* – 2015. – № 3. – Т. 7. – С. 51–60.
13. Barrera R. Use of advanced simulation software Aspen Plus as teaching tool in chemical reaction engineering / R. Barrera, Y. Agudelo // *Revista Educación en Ingeniería.* – 2015. – No.19. – Vol. 10. – P. 57–68.
14. Lundstrøma C. Comparison of the SRK and CPA equations of state for physical properties of water and methanol / C. Lundstrøma, M. Michelsena, G. Kontogeorgisa, K. Pedersen, H. Sørensen // *Fluid Phase Equilibria.* – 2006. – No. 247(1). – P. 149–157.
15. Rueda L. Modeling and Control of Multicomponent Distillation Systems Separating Highly Non-Ideal Mixtures // *PhD Dissertation, The University of Texas at Austin, USA.* – 2005.
16. Rueda L. On-line Parameter Estimation and Control for a Pilot Scale Distillation Column / L. Rueda, T. Edgar, R. Eldridge // *AIChE Annual.* – 2004.

Рецензія/Peer review : 4.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 15.12.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кадацкий А.Ф.

АЛГОРИТМ ПОШУКУ ПОШКОДЖЕННЯ В ПРИСТРОЯХ ЗАХИСТУ ВІД ОДНОФАЗНИХ ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ ОБМОТКИ СТАТОРА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА, ЩО ПРАЦЮЄ В БЛОЦІ З ТРАНСФОРМАТОРОМ

В роботі запропоновано оптимальні алгоритми пошуку пошкодження в схемах пристроїв захисту від однофазних замикань на землю обмотки статора синхронного генератора, що працює в блоці з трансформатором, які розраховують та реагують на струм в місці виникнення замикання на землю, шляхом використання комбінованого принципу накладання постійного струму на коло, що містить ізоляцію обмотки статора для визначення активного опору ізоляції обмотки статора відносно землі, використання енергії розряду попередньо зарядженого конденсатора для визначення перехідного опору в місці замикання на землю, контролю напруги нульової послідовності та врахування ємності ізоляції обмотки статора відносно землі.

Ключові слова: синхронний генератор, однофазне замикання на землю, релейний захист.

V.M. KUTIN

Vinnytsia National Technical University

O.O. SHPACHUK

Khmelnyskyi Nuclear Power Plant

SEARCH ALGORITHM OF DAMAGE OF PROTECTION DEVICES FROM SINGLE-PHASE GROUND FAULT OF THE STATOR WINDING OF SYNCHRONOUS GENERATOR, WHICH OPERATES IN BLOCK WITH A TRANSFORMER

The paper presents the optimal search algorithm of damage circuits of protection device from single-phase ground fault of the stator winding synchronous generator working in the unit with a transformer, that counting and respond to the current at the site of ground fault by using the combined principle of imposing a direct current to circle containing stator winding insulation to determine the active stator winding insulation resistance to earth, energy of discharge of pre-charged capacitor to determine the transition resistance at the site of ground fault, zero-sequence voltage control and taking into account capacitance of stator winding insulation to earth.

Keywords: synchronous generator, single-phase ground fault relay protection.

Вступ

При розробці нових та експлуатації вже існуючих пристроїв релейного захисту та автоматики виникає проблема періодичної перевірки справності електронних і мікропроцесорних схем пристроїв, а за необхідності, швидкого пошуку пошкоджених елементів схеми та ремонту. Виробники сучасних засобів релейного захисту по різному підходять до вирішення цієї задачі: оснащують пристрої блоками самодіагностування, або постачають в комплекті з виробом інструкції з обслуговування та ремонту. Проте не зважаючи на те який саме підхід для організації обслуговування пристрою було обрано, актуальною задачею є побудова оптимального алгоритму пошуку пошкодження [1, 2].

Результати дослідження

Для підвищення швидкодії та чутливості захисту від однофазних замикань на землю обмотки статора синхронного генератора, що працює в блоці з трансформатором, в роботі запропоновано метод, який розраховує та реагує на струму в місці виникнення замикання на землю, шляхом використання комбінованого принципу накладання постійного струму на коло, що містить ізоляцію обмотки статора для визначення активного опору ізоляції обмотки статора відносно землі, використання енергії розряду попередньо зарядженого конденсатора для визначення перехідного опору в місці замикання на землю, контролю напруги нульової послідовності та врахування ємності ізоляції обмотки статора відносно землі [3–5].

Отримане значення струму порівнюється з нормованим і в разі відхилення захист подає команду на вимикання синхронного генератора від мережі, на сигнал і автомат гасіння поля. Принципові схеми для пристроїв з послідовною та паралельною обробкою сигналів контрольованих параметрів, що реалізують запропонований метод захисту представлені на рисунках 1 та 2 відповідно [6, 7].

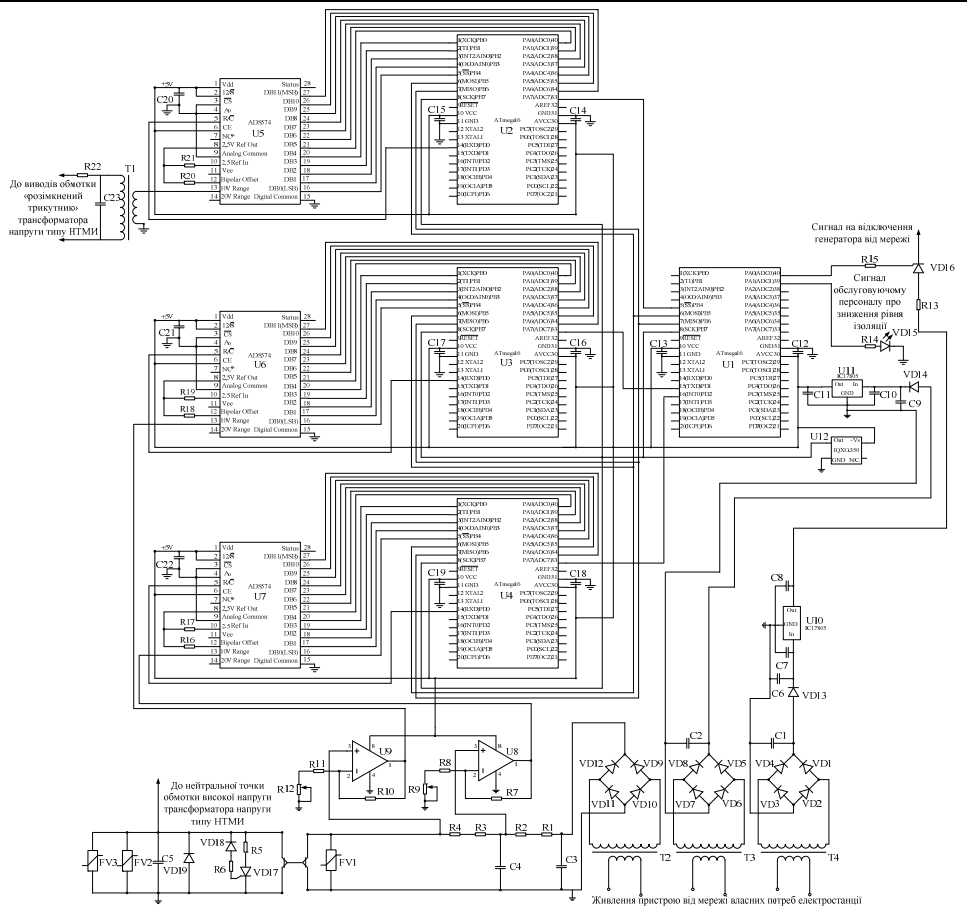


Рис. 1. Принципова схема пристрою захисту від ОЗЗ обмотки статора СГ, що працює в блоці з трансформатором, яка використовує паралельну обробку контрольованих сигналів

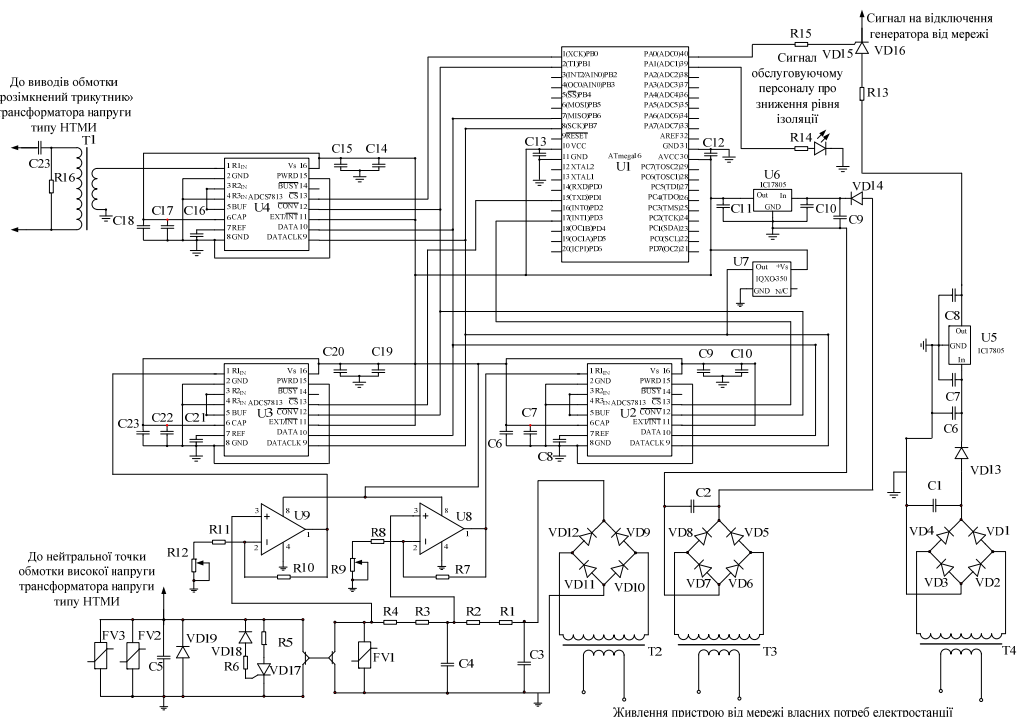


Рис. 2. Принципова схема пристрою захисту від ОЗЗ обмотки статора СГ, що працює в блоці з трансформатором, яка використовує послідовну обробку контрольованих сигналів

Для моделювання нормального та аварійного режиму роботи пристрою захисту скористаємося алгоритмічним методом. Метод ґрунтується на перевірці правильності функціонування об'єкту в цілому, або окремих його частин на основі оцінювання відповідними технічними засобами логічних ознак виконання робочих дій в процесі робочого, тестового чи експрес-діагностування.

Технічні об'єкти можна розділити на декілька взаємопов'язаних частин, кожна з яких має своє

самостійне значення. В цьому випадку як діагностична може використовуватись, так звана, функціональна модель.

Функціональна модель є графічним зображенням об'єкта, в якому кожна виділена частина (функціональний елемент) позначається прямокутником з декількома входами і одним виходом, які показані стрілками. Кількість входів відповідає кількості зовнішніх дій, які необхідно додати, щоб отримати реакцію на виході елемента. Зв'язки між елементами показані лініями зі стрілками, які позначають напрямки проходження сигналу. Стан елемента оцінюватимемо 1, якщо при поданні всіх допустимих входів на виході елемента виникає допустима реакція. Якщо реакція виявиться недопустимою, то його стан оцінюється як 0. Якщо хоча б на один із входів подана недопустима дія, то вихідна реакція елемента також повинна бути недопустимою.

Користуючись функціональною моделлю, можна задати всю множину можливих станів виробу. Потужність множини станів $\{S_i\}$ визначається кількістю можливих станів функціональних елементів моделі. Кожну компоненту множини подають n -мірним вектором, де n – кількість функціональних елементів моделі. В більшості випадків вважають, що одночасно може відмовити тільки один елемент. Елемент, який відмовив, у векторі станів відповідає 0.

Якщо вважати перевірку реакцією одного із функціональних елементів (при подачі на модель всіх допустимих дій), то можна побудувати таблицю станів об'єкта, де кількість рядків буде відповідати кількості станів об'єкта S_i , а кількість стовпців – кількості перевірок τ_j .

Функціональна модель і побудована на її основі таблиця станів дозволяє при розв'язанні діагностичних задач використовувати формальний апарат для визначення оптимальної кількості необхідних перевірок.

Інформаційний алгоритм пошуку пошкодження базується на інформаційній оцінці процесу діагностування. Одним із таких алгоритмів є алгоритм, який базується на аналізі таблиці станів. В таблиці стовпці відповідають всім можливим станам, а рядки – всім можливим перевіркам. Кожна перевірка має два результати $A=\{0;1\}$ та вважається, що всі стани утворюють групу подій, які мають однакову ймовірність. В процесі пошуку об'єкт не переходить з одного стану в інший. [8]

Розділимо запропоновані виконання пристрою на окремі функціонально незалежні блоки.

Функціональна схема пристрою захисту від ОЗЗ обмотки статора СГ, що працює в блоці з трансформатором, яка використовує паралельну обробку контрольованих сигналів представлена на рисунку 3.

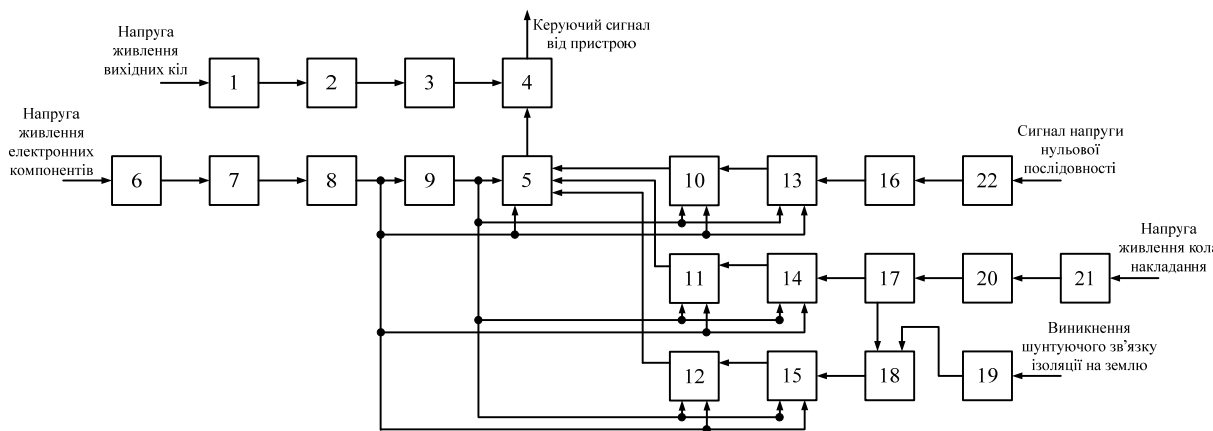


Рис. 3. Функціональна схема пристрою захисту від ОЗЗ обмотки статора СГ, що працює в блоці з трансформатором, який використовує паралельну обробку контрольованих сигналів

До функціональної схеми пристрою входять такі елементи: 1 – трансформатор живлення вихідних кіл; 2 – діодний міст; 3 – стабілізатор напруги; 4 – блок вихідних кіл; 5 – центральний МК; 6 – трансформатор живлення центрального МК та периферійних пристроїв; 7 – діодний міст; 8 – стабілізатор напруги живлення; 9 – генератор тактових імпульсів; 10 – МК, що виконує перетворення сигналу напруги нульової послідовності; 11 – МК, що виконує перетворення сигналу активного опору ізоляції обмотки статора відносно землі; 12 – МК, що виконує перетворення сигналу перехідного опору в місці замикання на землю; 13 – АЦП, що виконує перетворення сигналу напруги нульової послідовності; 14 – АЦП, що виконує перетворення сигналу активного опору ізоляції обмотки статора відносно землі; 15 – АЦП, що виконує перетворення сигналу перехідного опору в місці замикання на землю; 16 – проміжний трансформатор; 17 і 18 – резистори; 19 – конденсатор; 20 – діодний міст; 21 – трансформатор живлення кола накладання струму на обмотку статора; 22 – вхідний R-C фільтр.

В таблиці 1 представлена таблиця станів пристрою захисту від ОЗЗ обмотки статора СГ, що працює в блоці з трансформатором, який використовує паралельну обробку контрольованих сигналів.

Таблиця 1

Таблиця станів пристрою захисту від ОЗЗ обмотки статора СГ, що працює в блоці з трансформатором, який використовує паралельну обробку контрольованих сигналів

-	π_1	π_2	π_3	π_4	π_5	π_6	π_7	π_8	π_9	π_{10}	π_{11}	π_{12}	π_{13}	π_{14}	π_{15}	π_{16}	π_{17}	π_{18}	π_{19}	π_{21}	π_{22}	π_{23}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
S ₁	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S ₂	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S ₃	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S ₄	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S ₅	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S ₆	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
S ₇	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
S ₈	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
S ₉	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
S ₁₀	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S ₁₁	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S ₁₂	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S ₁₃	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S ₁₄	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
S ₁₅	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
S ₁₆	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
S ₁₇	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1
S ₁₈	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1
S ₁₉	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1
S ₂₀	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1
S ₂₁	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
S ₂₂	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0
L	21	20	19	0	4	21	20	19	18	14	13	11	15	14	12	20	19	17	21	20	21	21
n-L	1	2	3	22	18	1	2	3	4	8	9	11	7	8	10	2	3	5	1	2	1	1
log ₂ (22)	4,459431619																					
n	22																					
I(π_i)	0,267	0,439	0,575	Викл.	0,684	0,267	0,439	0,575	0,684	0,946	0,976	1,000	0,902	0,946	0,994	0,439	0,575	0,773	0,267	0,439	0,267	0,267

На початку побудови алгоритму пошуку вважається, що об'єкт характеризується повною ентропією, що визначається за рівнянням

$$H = \log_2 n, \quad (1)$$

де n – кількість станів об'єкту.

Інформація, що отримують в результаті перевірки, розраховується за формулою, представленою нижче

$$I(\pi_k) = H - H(\pi_k), \quad (2)$$

де $H(\pi_k)$ – умовна ентропія.

$$H(\pi_k) = \frac{l}{n} \log_2 l + \frac{n-l}{n} \log_2 (n-l), \quad (3)$$

де l – кількість одиниць в таблиці станів для k -ої перевірки.

$$I(\pi_k) = \log_2 n - \left(\frac{l}{n} \log_2 l + \frac{n-l}{n} \log_2 (n-l) \right). \quad (4)$$

За виразом (5) розраховується значення умовної ентропії після виконання k -ої перевірки:

$$H\left(\frac{\pi_i}{\pi_k}\right) = \frac{l_1}{n} \log_2 l_1 + \frac{l-l_1}{n} \log_2 (l-l_1) + \frac{l_2}{n} \log_2 l_2 + \frac{n-l-l_2}{n} \log_2 (n-l-l_2) \frac{1}{2}, \quad (5)$$

де l_1 – кількість одиниць в i -му рядку на одиниці в k -му рядку в таблиці станів;

l_2 – кількість одиниць в i -му рядку на нулі в k -му рядку в таблиці станів.

В таблиці станів 1, також розраховано значення інформації за виразом (4) та визначено першу обов'язкову перевірку – π_{12} , а також з переліку виключено перевірку π_4 , як таку, що не несе необхідну для пошуку несправності інформацію. Наступним кроком є перебудова таблиці станів таким чином, щоб перевірка яка несе найбільшу інформацію про стан пристрою була у першому рядку, і відбувається розрахунок за виразами (1–5) інформацію, що несе кожна з перевірок після виконання першої обов'язкової перевірки і виявлення наступних за інформативністю перевірок та виявлення перевірок що не несуть

істотної інформації. Описаний вище алгоритм повторюється необхідну кількість разів до визначення оптимального дерева рішень.

Як результат розрахунків проведених вище побудуємо дерево рішень для пошуку пошкодження в пристрої захисту від ОЗЗ обмотки статора СГ, що працює в блоці з трансформатором, який використовує паралельну обробку контрольованих сигналів. Дерево рішень представлено на рисунку 4.

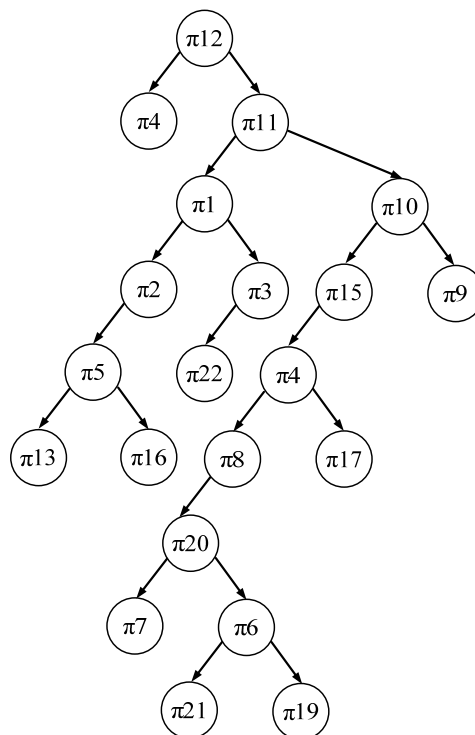


Рис. 4. Дерево рішень для пошуку пошкодження у пристрої захисту від ОЗЗ обмотки статора СГ, що працює в блоці з трансформатором, який використовує послідовну обробку контрольованих сигналів

Аналогічно виконаємо розрахунки для пристрою захисту від ОЗЗ обмотки статора СГ, що працює в блоці з трансформатором, яка використовує послідовну обробку контрольованих сигналів. Функціональна схема пристрою захисту від ОЗЗ обмотки статора СГ, що працює в блоці з трансформатором, яка використовує послідовну обробку контрольованих сигналів представлена на рисунку 5.

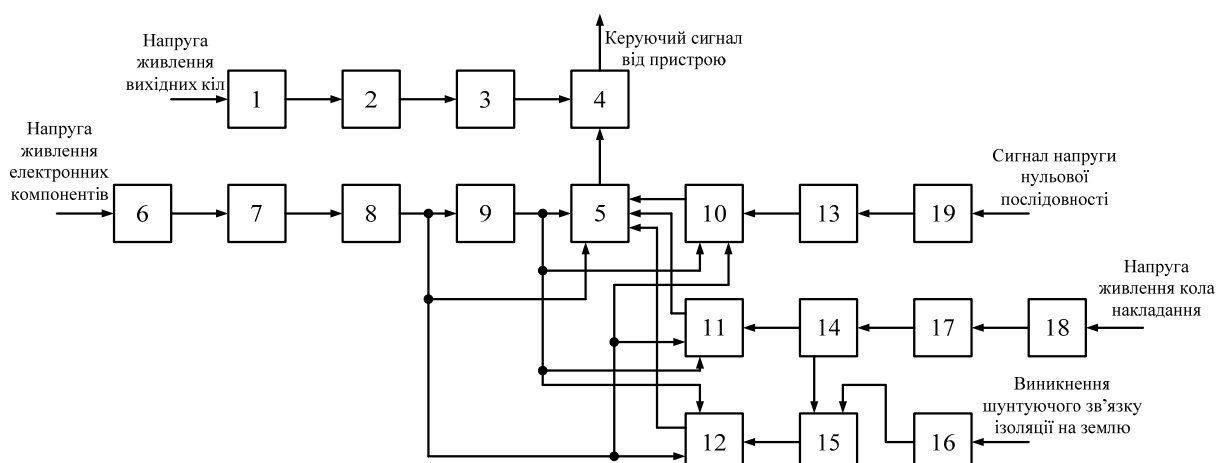


Рис. 5. Функціональна схема пристрою захисту від ОЗЗ обмотки статора СГ, що працює в блоці з трансформатором, який використовує послідовну обробку контрольованих сигналів

До функціональної схеми пристрою входять такі елементи: 1 – трансформатор живлення вихідних кіл; 2 – діодний міст; 3 – стабілізатор напруги; 4 – блок вихідних кіл; 5 – центральний МК; 6 – трансформатор живлення центрального МК та периферійних пристроїв; 7 – діодний міст; 8 – стабілізатор напруги живлення; 9 – генератор тактових імпульсів; 10 – АЦП, що виконує перетворення сигналу напруги нульової послідовності; 11 – АЦП, що виконує перетворення сигналу активного опору ізоляції обмотки статора відносно землі; 12 – АЦП, що виконує перетворення сигналу перехідного опору в місці замикання на землю; 13 – проміжний трансформатор; 14 і 15 – резистори; 16 – конденсатор; 17 – діодний міст; 18 – трансформатор живлення кола накладання струму на обмотку статора; 19 – вхідний R-С фільтр.

Таблиця станів пристрою, що розглядається представлена в таблиці 2.

Таблиця 2

Таблиця станів пристрою захисту від ОЗЗ обмотки статора СГ, що працює в блоці з трансформатором, який використовує послідовну обробку контрольованих сигналів

-	π_1	π_2	π_3	π_4	π_5	π_6	π_7	π_8	π_9	π_{10}	π_{11}	π_{12}	π_{13}	π_{14}	π_{15}	π_{16}	π_{17}	π_{18}	π_{19}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
S ₁	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S ₂	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S ₃	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S ₄	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S ₅	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S ₆	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
S ₇	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
S ₈	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
S ₉	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
S ₁₀	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S ₁₁	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
S ₁₂	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
S ₁₃	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
S ₁₄	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1
S ₁₅	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1
S ₁₆	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1
S ₁₇	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1
S ₁₈	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
S ₁₉	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0
L	18	17	16	0	4	18	17	16	15	12	11	9	17	16	14	18	17	18	18
n	19																		
n-L	1	2	3	19	15	1	2	3	4	7	8	10	2	3	5	1	2	1	1
log ₂ (19)	4,247927513																		
I(π_i)	0,297	0,485	0,629	Викл.	0,742	0,297	0,485	0,629	0,742	0,949	0,982	0,998	0,485	0,629	0,831	0,297	0,485	0,297	0,297

Як результат розрахунків проведених вище побудуємо дерево рішень для пошуку пошкодження в пристрої захисту від ОЗЗ обмотки статора СГ, що працює в блоці з трансформатором, яка використовує послідовну обробку контрольованих сигналів. Дерево рішень представлено на рисунку 6.

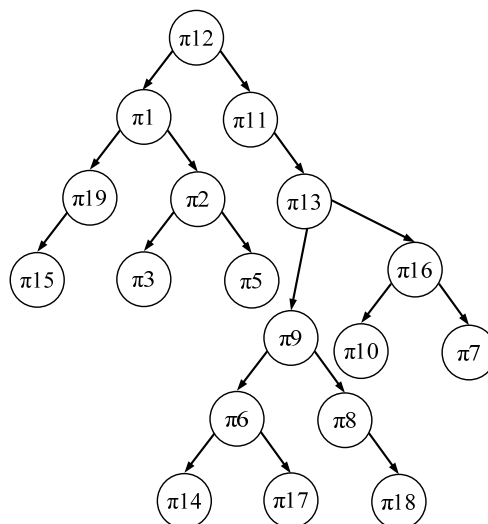


Рис. 6. Дерево рішень для пошуку пошкодження у пристрої захисту від ОЗЗ обмотки статора СГ, що працює в блоці з трансформатором, який використовує послідовну обробку контрольованих сигналів

Висновки

Запропоновано алгоритми пошуку пошкодження в схемах пристрою захисту дозволять пришвидшити пошук пошкоджених елементів, а як наслідок скоротять час ремонту чи ревізії пристрою. Побудова автоматичної системи діагностування (самодіагностування) пристрою є окремою задачею яка в рамках даної роботи не розглядається, але варто зазначити, що створення такої системи та її паралельне

функціонування з пристроєм захисту хоч і покращить зручність експлуатації пристрою, але значно збільшить його вартість і складність схеми, через необхідність створення електронного блоку діагностування пристрою РЗА та створення зв'язків між схемою пристрою захисту та схемою блоку діагностування.

Література

1. Современные испытательные устройства для релейной защиты и автоматики / А. П. Кузнецов, В. Ю. Лукоянов, А. Н. Бирг, В. Н. Дмитриев, В. А. Герасимов, С. А. Кузьмин. – М. : НТФ «Энергопрогресс», 2001. – 80 с. – ISSN 0013-7278.
2. Жарков Ю. И. Автоматизация диагностирования систем релейной защиты и автоматики электроустановок : монография / Ю. И. Жарков, В. Г. Лысенко, Е. А. Стороженко ; под ред. Ю. И. Жаркова. – М. : Маршрут, 2005. – 178 с. – ISSN 5-89035-253-9.
3. Пат. 102487 Україна : МПК H02H 7/00. Спосіб захисту від однофазних замикань на землю обмотки статора синхронного генератора, що працює в блоці з трансформатором / О. О. Шпачук, В. М. Кутін. – № u 2015 06604 ; заявл. 06.07.2015 ; опубл. 26.10.2015, Бюл. № 20.
4. А.с. № 1171898 (СССР). Устройство для защиты статора генератора в блоке с трансформатором от замыканий на землю / Кутин В.М., Вишневский В.Н., Кобылянский А.В., Рубаненко А. Е. 1985. – № 29.
5. А.с. № 1224892 (СССР). Устройство для защиты блоков генератор – трансформатор от замыканий на землю / Кутин В.М., Вишневский В.Н., Кобылянский А.В., Рубаненко А. Е., Новак С. А. – 1986. – № 14.
6. Kutin Vasyi. Protection against single phase ground fault of the stator winding synchronous generator / Vasyi Kutin, Oleksandr Shpachuk // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna. – 2016. – № 1-2. – P. 118-121. – ISSN 2310-5607.
7. Кутін В. М. Пристрій захисту від однофазних замикань на землю обмотки статора синхронного генератора, що працює в блоці з трансформатором / В. М. Кутін, В. І. Голінько, О. О. Шпачук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2016. – № 2. – С. 133–138. – ISSN 1997-9266.
8. Кутін В. М. Діагностика електрообладнання. Типові задачі та лабораторний практикум : навчальний посібник / В. М. Кутін, М. О. Ілюхін. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 148 с.

Рецензія/Peer review : 18.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 15.12.2016 р.
Рецензент: к.т.н., доц. Рубаненко О.Є.

ЕВОЛЮЦІЙНИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ НВЧ ТРАНЗИСТОРНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ

В статті наведено морфологічний аналіз каскадних надвисокочастотних транзисторних підсилювачів. Для процедури морфологічного синтезу розроблений пошуковий алгоритм, який заснований на генетичних алгоритмах, обрана система кодування та декодування структури та параметрів надвисокочастотного підсилювача.

Ключові слова: еволюційний алгоритм, генетичний алгоритм, морфологічний підхід, морфологічне дерево, автоматизований структурно-параметричний синтез, транзисторний підсилювач, надвисокочастотний малошумний підсилювач.

D.A. MAKARYSHKIN, L.O. KOVTUN, O.G. ONYSHKO, A.V. BORYS
Khmelnytsky National University

EVOLUTIONARY ALGORITHM FOR AUTOMATIC STRUCTURAL-PARAMETRIC SYNTHESIS OF MICROWAVE TRANSISTOR AMPLIFIER

In the article the morphological analysis cascading microwave transistor amplifiers. For procedure of morphological synthesis a searching algorithm that is based on genetic algorithms, select system of code and decoding of structure and parameters of microwave strengthener, is worked out. Implemented automated process of structural and parametric synthesis of microwave low noise amplifier cascade over a range of performance requirements using idealized models of passive components based on genetic algorithm. The results show that the evolutionary algorithm for automated structural and parametric synthesis of microwave transistor amplifiers can significantly simplify the process of designing microwave low noise amplifier. The advantage of evolutionary algorithm for automated structural and parametric synthesis of microwave transistor amplifiers is the ability to control the structure and range of nominal elements; it offers practically implemented amplifier circuit.

Keywords: the evolutionary algorithm, the genetic algorithm, morphological approach, morphological tree, automatic structural-parametric synthesis, the transistor amplifier, the microwave low noise amplifier.

Постановка проблеми. У сучасних радіоелектронних системах широке розповсюдження отримали надвисокочастотні (НВЧ) напівпровідникові пристрої. В частковому випадку, вони знаходять застосування в системах зв'язку, радіолокації, радіонавігації, радіоастрономії, високошвидкісної передачі даних, системах військового та космічного призначення і т.д.

Одним із найбільш розповсюджених типів НВЧ напівпровідникових пристроїв є НВЧ транзисторні малошумні підсилювачі (МШП), які визначають чутливість, дальність дії, завадостійкість, розрізнявальну здатність та інші характеристики радіоелектронних систем. До основних характеристик МШП відносяться смуга пропускання робочих частот, нерівномірність та форма амплітудно-частотної характеристики, коефіцієнт шуму, динамічний діапазон, рівень узгодження на вході та виході з трактом передачі сигналу, стійкість та інші.

Питаннями проектування НВЧ транзисторних підсилювачів (ТП) і, в частковому випадку, МШП присвячено велику кількість робіт вітчизняних та зарубіжних авторів, запропоновано значне число схем НВЧ ТП, а також методик їх розрахунку. Однак, проблема проектування НВЧ МШП залишається актуальною. Це пов'язано з недоліками та обмеженнями існуючих підходів до проектування, постійно зростаючим об'ємом розробки НВЧ МШП в різних частотних піддіапазонах, підвищенням вимог та недостатністю кваліфікованих спеціалістів. В останні часи вказана проблема загострилась у зв'язку з розвитком засобів масової комунікації в НВЧ діапазоні (комірковий та мобільний зв'язок, Wi-Fi та ін.).

Перспективним напрямком подолання вказаних труднощів є створення методів автоматизованого (автоматичного) синтезу конкретних типів НВЧ радіоелектронних пристроїв та розробка спеціалізованих інтелектуальних систем автоматизованого проектування, які дозволяють генерувати принципові схеми пристроїв у відповідності до вимог, які пред'являються.

Таким чином, розробка методів, алгоритмів та програмного забезпечення для автоматизованого синтезу НВЧ МШП є актуальною науковою задачею і має важливе значення для підвищення ефективності проектування та покращення характеристик цього класу пристроїв.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для проектування НВЧ МШП у теперішній час використовуються, у частковому випадку, графоаналітичні методи на основі використання кругової діаграми Вольперта-Сміта, аналітичні методи, методи «реальної частоти», систематичний пошук, декомпозиційний метод синтезу, методики візуального проектування та інші. Окремі етапи проектних процедур на базі вказаних підходів є автоматизованими. Також є невелика кількість програмних продуктів, які забезпечують рішення задачі проектування НВЧ МШП: Amplifier Design Wizard [1, 2], Linc2 [3] та RF Compiler [4]. При цьому існуючі методи, як правило, орієнтовані на частковий синтез НВЧ МШП, тобто синтез пасивних коригуючих кіл (КК), а також узгоджених кіл (УК), узгоджено-коригуючих кіл (УКК) та кіл зворотного зв'язку (ЗЗ), за відомим способом їх з'єднання з активним елементом (АЕ) – транзистором.

Слід також відмітити невелику кількість та обмежені функціональні можливості існуючих

спеціалізованих програм для автоматизації проектування НВЧ транзисторних підсилювачів. Перераховані програми розроблялися під застарілі на даний момент ЕОМ та операційні системи і у теперішній час не використовуються. Нижче наведені тільки найбільш потрібні на даний момент зарубіжні розробки. У теперішній час відомі наступні сучасні програмні продукти для проектування узгоджувачів кіл, а також НВЧ транзисторних підсилювачів [5]: *MultiMatch* (фірма *Ampsa PTY Ltd.*, США) [2]; *Genesys* (фірма *Keysight*, США) [6]; *Linc2* (фірма *Applied Computational Science*, США) [3]; *Smith* (Бернський університет *University of Applied Sciences*, Швейцарія) [7]; *ZMatch* (у складі програмного продукту *Filter Solutions*, фірма *Nu-hertz*, США) [8]; *RF Compiler* (фірма *Hewlett Packard*, США) [4].

Однак перераховані підходи та програмне забезпечення на їх основі мають значні недоліки. Аналітичні методи використовують спрощені моделі АЕ та різні допущення, які понижують точність проектування. Багато методів не враховують повний комплекс характеристик НВЧ МШП, а також не дозволяють контролювати структури та значення елементів синтезованих КК, останнє ускладнює практичну реалізацію підсилювачів. Більшість запропонованих методів є чисельними та ґрунтуються на процедурах нелінійної оптимізації, які страждають від загальновідомих недоліків (необхідність початкового наближення, проблеми збіжності, отримання локальних оптимумів і т.д.).

Порівняно недавно почалися інтенсивні дослідження в області розвитку нових підходів до рішення загальної задачі структурно-параметричного синтезу технологічних об'єктів (також радіоелектронних пристроїв), які засновані на принципах штучного інтелекту та еволюційних обчислень. З'явилася нова область – еволюційна електроніка, яка займається застосуванням вказаних принципів до синтезу цифрових та аналогових радіоелектронних пристроїв [5].

Перспективним підходом в цій області є використання еволюційних (ЕА) та генетичних алгоритмів (ГА) [9, 10], які імітують еволюційні процеси у природі – механізми генетичного спадкування, мутації, схрещування та природний відбір. Однак досвід застосування ЕА та ГА до синтезу принципових схем навіть порівняно простих типів аналогових радіоелектронних пристроїв (активних фільтрів, операційних підсилювачів та ін.) показав, що автоматично синтезовані пристрої часто є більш складними, і менш зручними для практичної реалізації та володіють гіршими характеристиками, ніж спроектовані людиною. Основним недоліком багатьох існуючих алгоритмів синтезу аналогових радіоелектронних пристроїв на базі ЕА та ГА є відсутність контролю структури синтезованого об'єкту, що призводить до непрактичних рішень, які в свою чергу, є часто з надлишковим числом елементів.

Таким чином, при рішенні задач синтезу НВЧ радіоелектронних пристроїв на основі принципів штучного інтелекту та еволюційних обчислень головною проблемою є облік накопиченого досвіду у побудові конкретних типів пристроїв з метою обмеження пошукового простору областю раціональних рішень (схем), які можуть бути реально виготовлені з урахуванням технологічних обмежень та застосовані на практиці.

Для вирішення цієї проблеми перспективним представляється застосування морфологічного підходу (МП) [11], який складається з двох основних кроків морфологічний аналіз (МА) та морфологічний синтез. На першому кроці спеціаліст у предметній області, проводячи морфологічний аналіз деякого конкретного класу технічних пристроїв, виявляє основні варіанти застосування на практиці, їх загальні та відмінні особливості, а також використанні в них елементи. Всі знайдені варіанти класифікують та утворюють загальну модель даного класу пристроїв. На етапі морфологічного синтезу розробник використовуючи загальну модель обирає (генерує) один або декілька варіантів пристрою, у найбільшій степені той варіант, який відповідає поставленим вимогам. Тут є доцільним використання еволюційного алгоритму.

Слід відмітити, що при структурно-параметричному синтезі НВЧ транзисторних підсилювачів, особливо багатокаскадних, пошуковий простір для еволюційного алгоритму має високу розмірність, тобто велику кількість варіативних параметрів, які відповідають за структуру та значення елементів підсилювача. Тому важливим є представлення розробки способів синтезу НВЧ транзисторних підсилювачів, які дозволяють знизити розмірність цього простору – наприклад, послідовний синтез окремих підсилювальних каскадів (ПК). Одна з ідей для рішення такої задачі є використання при синтезі ідеальних трансформаторів імпедансу (ІТІ), тобто реактивних чотирьохполюсних кіл, які описують одну з систем власних параметрів (Z , Y або S) та забезпечують на заданій частоті трансформацію одного комплексного опору в інший.

Автоматизація процедури синтезу малошумних НВЧ ТП є важливою задачею, рішення якої дозволяє спростити та прискорити процес проектування, покращити характеристики синтезованих пристроїв.

Морфологічний аналіз принципових схем підсилювачів, активних блоків (АБ), пасивних блоків (ПБ) та УКК дає можливість побудувати загальну модель – морфологічне І-АБО дерево досліджуваного класу НВЧ транзисторного підсилювача каскадного типу. Це дерево дозволяє обмежити пошуковий простір еволюційного алгоритму областю практично реалізованих раціональних структур, найчастіше всього, які використовуються при побудові таких підсилювачів. Для наочності на рисунку 1 представлений вид повного загального морфологічного І-АБО дерева двокаскадного НВЧ транзисторного підсилювача.

На рисунку 1 використовуються наступні позначення: у вигляді прямокутників показані складальні компоненти, а у вигляді еліпсів – кінцеві вузли (базові пасивні або активні елементи) з призначеними діапазонними варіюваннями. Суцільна лінія означає зв'язок типу «І» (вузол обов'язково увійде в

Метою статті є розробка еволюційного алгоритму для автоматизованого структурно-параметричного синтезу надвисокочастотних транзисторних підсилювачів.

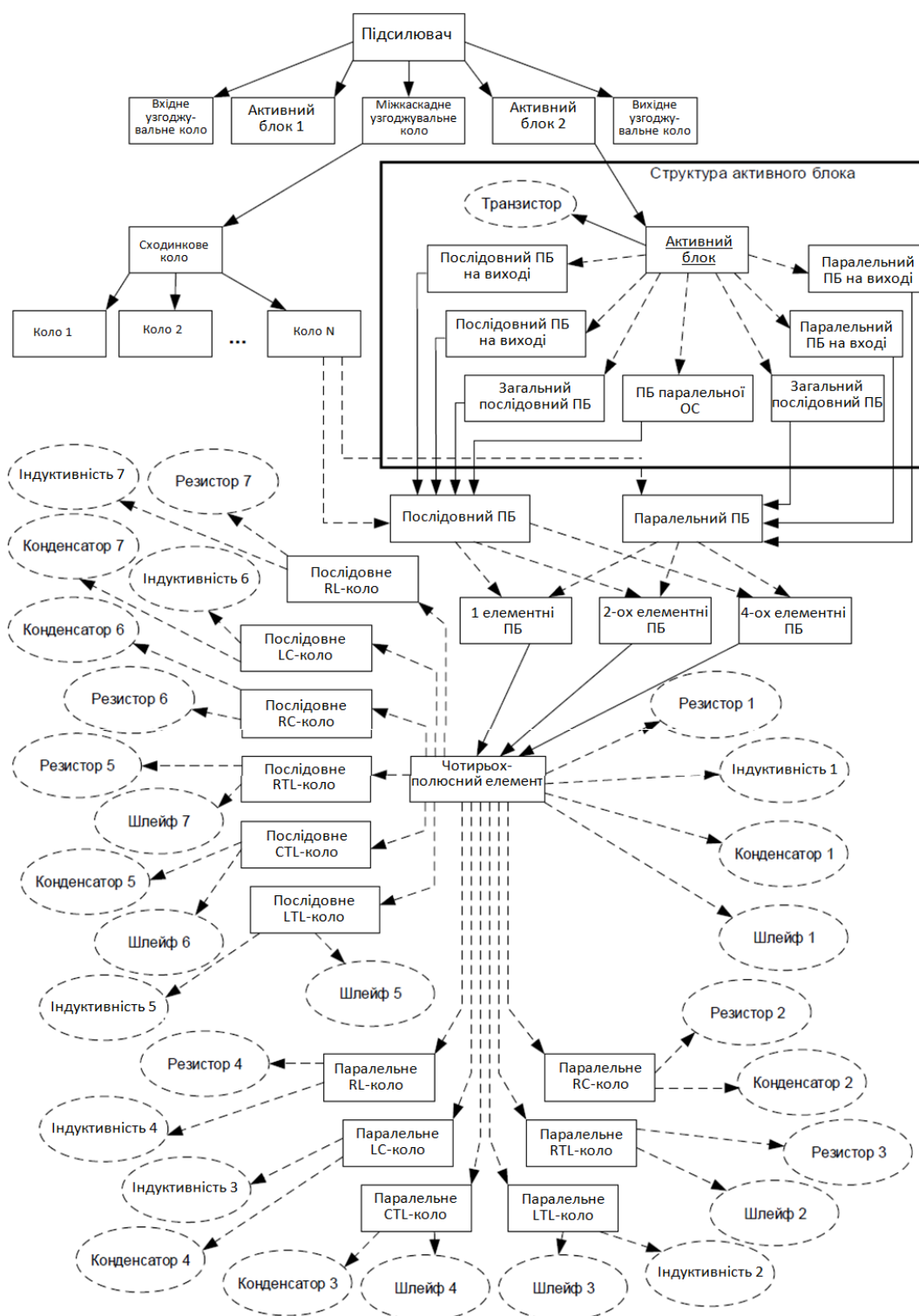


Рис. 1. Повне морфологічне І-АБО дерево двокаскадного НВЧ транзисторного підсилювача

Виклад основного матеріалу дослідження. Серед існуючих різновидів для структурного синтезу аналогової радіoeлектронної апаратури найбільш часто використовують генетичний алгоритм та генетичне програмування. У даній статті обраний генетичний алгоритм по наступним причинам:

1. Пошуковий простір при структурно-параметричному синтезі може бути дискретним, тобто пошук може здійснюватися у дискретному просторі структур маломішумних підсилювачів та значень параметрів пасивних елементів. Допустимість використання дискретних значень параметрів елементів обумовлена неможливістю отримання величин з високою точністю при практичному виготовленні пасивних компонентів. Однак число дискретних значень параметрів повинно бути настільки великим, щоб крок зміни визначеного параметру був меншим за похибку при виготовленні елементів. Здатність генетичного алгоритму працювати у дискретному просторі кодів, які відображають як структуру, так і значення елементів, полегшує реалізацію структурно-параметричного синтезу НВЧ транзисторних підсилювачів.

2. При використанні генетичного алгоритму на основі проведеного морфологічного аналізу простіше розробляти декодований алгоритм, який дозволяє отримати із хромосоми розв'язок в області раціональних структур з наперед закладеними конструктивними особливостями реалізації схеми (наприклад, використання у схемі кіл подачі живлення, розподільних конденсаторів та ін.). У випадку генетичного програмування необхідно вводити додаткові процедури перевірки відповідності отриманої схеми критеріям практичної реалізованості, що значно ускладнює та сповільнює автоматизований синтез.

3. Великою перевагою генетичного алгоритму є те, що він одночасно оперує із сукупністю рішень, тобто у результаті його роботи можливо після одного запису отримати відразу декілька принципових схем маломішумних підсилювачів.

Введемо додаткові визначення. Всі генетичні алгоритми працюють на основі початкової інформації, в якості якої виступає сукупність (популяція) альтернативних рішень. Кожний елемент популяції, як правило, представляє собою хромосому або особину. Хромосоми складаються із генів (елементів, частини закодованого рішення), позиції генів у хромосомі називають локусом для однієї позиції, тобто ген є елементом у хромосомі, локус – це позиція у хромосомі, алель є значенням гену. Генотип – це повна генетична модель особин, фенотип представляє собою зовнішні ознаки, які відповідають вектору параметрів.

Розробка генетичного алгоритму для синтезу НВЧ маломішумних підсилювачів повинна включати у себе рішення наступних задач [12]:

1. Вибір типу генетичного алгоритму, який найбільш відповідає для рішення обраного класу задач – бінарного або дійсного.

2. Вибір типів та способів реалізації генетичних операторів для здійснення структурно-параметричного синтезу НВЧ маломішумних підсилювачів.

3. Визначення кодування та декодування структури і параметрів елементів синтезованого пристрою. Кодована система визначається, виходячи із морфологічного І-АБО дерева НВЧ маломішумних підсилювачів (рис. 1).

4. Випробування на реальних задачах та підбір параметрів генетичного алгоритму.

Зазвичай виділяють два типи генетичного алгоритму: бінарний та дійсний [13]. Для роботи генетичного алгоритму об'єкт пошуку, а саме зміни параметри об'єкта кодуються у вигляді хромосоми. У випадку принципової схеми НВЧ МШП у хромосому необхідно закодувати інформацію про структуру кіл, які використовуються, а також інформацію про параметри пасивних та активних елементів.

Бінарний генетичний алгоритм працює з представленням хромосоми у вигляді двійкового рядка, яка складається з 0 та 1, приклад наведений на рисунку 2.

11101101	00101001	00111100
----------	----------	----------

Рис. 2. Представлення хромосоми у бінарному генетичному алгоритмі

Кожен код бінарного рядка (генів хромосоми) може описувати, наприклад, структуру одного із блоків МШП або значення параметрів одного із елементів.

Звичайно, після генерації бінарного рядка необхідна підсистема, яка здійснює її декодування у вектор структурно-параметричного простору D_k .

Бінарний генетичний алгоритм володіє наступною перевагою: збіжність в обмеженому пошуковому просторі. Це є важливою перевагою за рахунок особливостей пошукового простору при структурно-параметричному синтезі НВЧ МШП. Згідно з проведенням морфологічним аналізом, є кінцева кількість типів пасивних елементів, а також способів їх включення у підсилювач, які можна кодувати кінцевим набором цілих чисел (наприклад від нуля до деякого максимального значення). Для величин параметрів всіх пасивних елементів також є нижні та верхні граничні значення. Можна зробити висновок, що простір пошуку при синтезі НВЧ транзисторних підсилювачів представляє собою гіперпаралелепіпед, і пошуковий алгоритм буде працювати в обмеженому просторі.

До недоліків бінарного генетичного алгоритму можна віднести наступне:

- обмеження точності використовуваних параметрів в залежності від розмірів бінарного слова, яке виділяється під їх представлення;

- відповідно у задачах, де є необхідним велика точність, використовується представлення параметрів у вигляді достатньо довгих бінарних слів, це зменшує швидкість декодування та роботи генетичного алгоритму у цілому. Однак, цей недолік не є визначальним при виборі бінарного генетичного алгоритму: за рахунок технологічних похибок виготовлення пасивних НВЧ елементів на практиці зазвичай

складно отримати точність значень їх параметрів вище третьої значущої цифри;

- сповільнення швидкості роботи за рахунок кодування/декодування хромосом у популяції на кожному кроці алгоритму;
- при збільшенні довжини хромосоми для більшого охоплення пошукового простору є необхідним збільшити численність популяції;

Дійсний генетичний алгоритм працює напівпрямим з представленням хромосоми у вигляді набору ознак пошукового простору, тобто у випадку НВЧ транзисторних підсилювачів типи структур та з'єднань елементів напівпрямим будуть представлені дискретними кодами (наприклад, каскадне з'єднання, паралельне з'єднання та ін.), а параметри будуть представлені дійсними значеннями параметрів елементів (рис. 3).

До переваг дійсного генетичного алгоритму можна віднести: пряме представлення пошукового простору виключає операцію кодування/декодування рішення, що прискорює роботу у порівнянні з бінарним генетичним алгоритмом; працює в необмежених просторах пошуку; використання дійсного представлення є простішим для розуміння задачі та її інтерпретації; точність використовуваних значень номіналів елементів є обмеженою тільки архітектурою ЕОМ.

$2,234 \times 10^2$	$4,31 \times 10^5$	$9,968 \times 10^{-3}$
---------------------	--------------------	------------------------

Рис. 3. Представлення хромосоми з дійсним генетичним алгоритмом

До недоліків генетичного алгоритму можна віднести: складність генетичних операторів при налаштуванні дійсного генетичного алгоритму на роботу в обмежених пошукових просторах; більш довгу збіжність дійсного генетичного алгоритму у порівнянні з бінарним.

На основі цього аналізу для рішення задачі структурно-параметричного синтезу НВЧ МШП обраний бінарний генетичний алгоритм, в основному через кращу збіжність в обмеженому пошуковому просторі.

Використання бінарного генетичного алгоритму для синтезу НВЧ МШП має на увазі конкретизацію загальної теорії генетичного алгоритму, яка застосовується до вирішуваної задачі. Тому необхідно визначити основні поняття генетичного алгоритму у термінах предметної області, у даному випадку, у термінах радіотехнічних понять.

Під *особиною* буде розумітися принципова схема каскадного НВЧ МШП із визначеною структурою та параметрами пасивних елементів, яка отримана за допомогою декодування хромосоми. Під *хромосомою* розуміється те ж, що для стандартного розуміння у бінарному генетичному алгоритмі, тобто бінарний рядок, який складається з нулів та одиниць та по визначених правилах кодує структуру та параметри НВЧ МШП. Під *поколінням* розуміється набір особин, які отримали після виконання всіх генетичних операторів на n -му кроці генетичного алгоритму, $n \neq 1$. При $n=1$ під *поколінням* розуміється набір особин, які отримали після випадкової їх генерації на початку синтезу. Під *цільовою функцією* розуміється скалярна величина, яка дозволяє кількісно оцінити ступень відповідності даної особи вимогам, які пред'являються до характеристик та структури синтезованого НВЧ МШП.

Принцип роботи генетичного алгоритму представлено на рисунку 4.

Основними операторами генетичного алгоритму є: селекція, кросингвер, мутація. На сьогоднішній день розроблено велику кількість різних типів операторів. При організації програми автоматизованого структурно-параметричного синтезу НВЧ МШП для підвищення гнучкості та варіативності процедури синтезу будуть використані декілька варіантів генетичних операторів. Їх опис наведено нижче.

Метод рулетки – це самий простий та найбільш використовуваний у генетичному алгоритмі метод. При його використанні кожному елементу у популяції відповідає зона на колесі рулетки, яка пропорційно співрозмірна з величиною цільової функції. При повороті колеса рулетки кожний елемент має деяку ймовірність вибору, до того ж елемент з великими значеннями цільової функції має велику ймовірність для вибору.

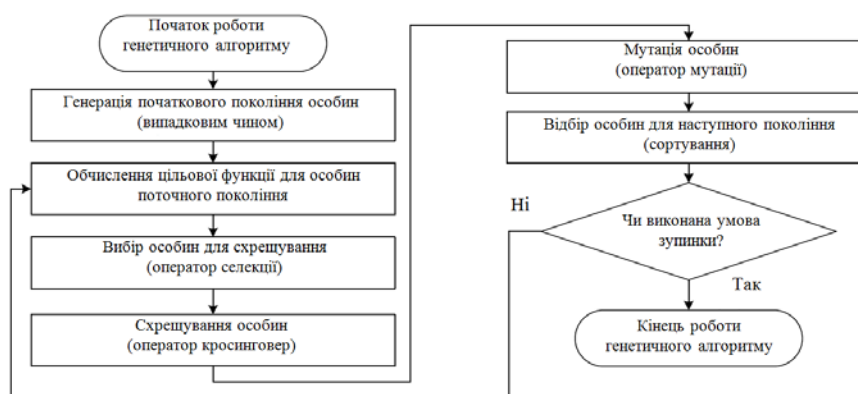


Рис. 4. Блок-схема роботи класичного генетичного алгоритму

Турнірний відбір реалізує n турнірів, щоб обрати n особин. Кожний турнір побудований на вибірці k елементів з популяції, і вибору найкращої особи серед них. Найбільш розповсюджений турнірний відбір з $k=2$.

Панмікція – це метод, при якому обидві особини, які складуть батьківську пару, випадковим чином обираються з усіх популяцій, причому будь-яка особина може стати членом декількох пар.

Аутбридинг – метод, при якому член пари обирається випадково, а другим з великою ймовірністю буде максимально далеко до нього особина.

Оператори схрещування:

При **одноточковому схрещуванні** (рис. 5) визначається розрізна точка. Ця точка визначає місце у двох хромосомах, де вони повинні бути «розрізаними». Далі відбувається обмін елементами до або після точки між двома батьками, і потім отримуємо два нащадки. При багатоточковому схрещуванні цих точок може бути декілька.

При **рівномірному схрещуванні** (рис. 6) кожний ген батьків унаслідуються першим нащадком із заданою ймовірністю. У протилежному випадку цей біт передається другому нащадку та навпаки.

При **універсальному схрещуванні** (рис. 7) визначається двійкова маска, довжина якої дорівнює довжині хромосоми. Отримання нащадків виконується на основі булевого додавання відповідних генів батьків та маски. Маска обирається випадково.

Батько 1	11	111111
Батько 2	00	000000
Нашадок 1	11	000000
Нашадок 2	00	111111

Рис. 5. Приклад одноточкового схрещування

Батько 1	11111111
Батько 2	00000000
Нашадок 1	10011010
Нашадок 2	01100101

Рис. 6. Приклад рівномірного схрещування

Батько	11111111
Маска	01101010
Нашадок	10010101

Рис. 7. Приклад універсального схрещування

Мутація (*mutation*) – стохастична зміна частини хромосом. У якості оператора мутації буде використаний самий розповсюджений механізм – у рядку, який підлягає мутації, кожен біт з визначеною ймовірністю (зазвичай дуже малою) змінюється на другий.

Таким чином, робота генетичного алгоритму для структурно-параметричного синтезу НВЧ МШП відбувається наступним чином. Спершу, випадковим чином генерується набір хромосом популяції, кожна з яких описує НВЧ МШП. Хромосома декодується у структуру і параметри елементів підсилювача. У МШП розраховуються значення контрольованих характеристик у заданому частотному діапазоні. У подальшому для кожної особини обчислюється цільова функція, після чого над популяцією виконується оператор селекції для вибору відповідних для схрещування хромосом. Потім відбувається обмін генетичним матеріалом за допомогою одного з операторів кросинговеру. Для зменшення ймовірності збіжності в області локального оптимуму виконується оператор мутації. Далі для всіх особин розраховується цільова функція (за допомогою декодування та розрахунку значень характеристик НВЧ МШП) та виконується сортування, у результаті якої залишається найбільш пристосована частина покоління, а решта особин замінюються випадково з генерованими. Такий механізм є необхідним для збільшення охоплення алгоритмом пошукового простору. Перераховані операції виконуються ітераційно до досягнення критерію зупинки алгоритму (надходження відповідного рішення, досягнення заданого часу або зупинки процесу синтезу користувачем).

Однією з особливостей розробленого генетичного алгоритму є одночасне використання декількох популяцій у процесі синтезу. Декілька популяцій прийнято називати *видами* [10]. Таким чином алгоритм, який представлено на рисунку 4, виконується не для однієї популяції, а для кожної популяції з виду. На заключному кроці ітерації популяції обмінюються найкращими особинами, при цьому найкраща особина з випадково обраної популяції замінює найгіршу в іншій випадково обраній популяції. В завершенні серед популяцій виконується селекція особин з найбільшою цільовою функцією. Використання декількох популяцій дозволяє збільшити охоплення пошукового простору та зменшити ймовірність збіжності до локально-оптимального рішення [10].

Синтезований підсилювач на рівні генетичного алгоритму, являє собою хромосому (особину). Спосіб кодування хромосоми повинен дозволити відобразити у вигляді двійкового коду всі можливі варіанти транзисторного підсилювача, які визначаються узагальненою структурою або побудованим І-АБО деревом (рис. 1).

Розглянемо побудову хромосоми, що відповідає обраній ієрархічній узагальненій структурній схемі пристрою (рис. 1), тобто кодування інформації про підсилювач, а також зворотній процес відновлення схеми підсилювача по двійковому коду – декодування. Під кодуванням розуміється перетворення існуючого дискретного ряду станів (наприклад, послідовне або паралельне ввімкнення; одна із шести конфігурацій ПБ на рис. 8 та рис. 9; значення пасивних елементів і т.п.) у бінарну строку достатнього розміру, щоб описати всі необхідні стани. Під декодуванням розуміється процес відновлення структури підсилювача по частинам двійкової хромосоми за допомогою перерахунку генів у задані на першому етапі дискретні стани структури пристрою. Окрім того, при декодуванні також відновлюються дійсні значення параметрів пасивних елементів. Вони обчислюються за заданими на етапі вибору моделей елементів для синтезу діапазоном варіації параметрів пасивних елементів за формулою:

$$X = \frac{X_k}{256} \cdot (X^+ - X^-) + X^- \quad (1)$$

де X_k – ціле значення, що отримане переведенням двійкового гену, який відповідає за значення

пасивного елемента, у десяткову систему числення, X^+ – верхня межа значення пасивного елемента; X^- – нижня межа значення пасивного елемента.

Після встановлення вимог до структури пристрою однозначно визначається довжина хромосоми, яка не змінюється у процесі роботи генетичного алгоритму. У хромосомі послідовно кодується частина кола УКК₁-АБ₁-УКК₂-...-УКК_N-АБ_N-УКК_{N+1}, що описує всі рівні морфологічного І-АБО дерева НВЧ МШП (рис. 1). Інформація про структуру пристрою, що кодується, повинна зберігатись у обраній структурі даних. На рівні блоків НВЧ МШП у якості такої структури може бути обраний список використовуваних АБ і УКК у підсилювачі. При відсутності будь-якого із блоків УКК або АБ інформація про нього не буде збережена у списку блоків підсилювача і, як наслідок, такий елемент не буде враховуватись при декодуванні хромосоми у принципіальну схему МШП.

У блоці УКК послідовно кодуються вхідні у його складі касадно ввімкненні ПБ. ПБ, який використовуються, а також їх обрані налаштування повинні також зберігатись у списку, відповідно при декодуванні буде отримана повна відповідність між обраними на початковому етапі налаштуваннями ПБ у складі УКК і реальними колами, що отримані у результаті розбору хромосоми.

У блоці АБ послідовно кодуються ПБ у наступному порядку: ПБ послідовний на вході, виході; ПБ паралельний на вході, виході; ПБ паралельного ЗЗ; ПБ послідовного ЗЗ; загальний послідовний ПБ. Наявність або відсутність кожного з ПБ у АБ, а також налаштування кожного ПБ зберігаються у список, за допомогою якого при декодуванні хромосоми відновлюється структура та параметри елементів АБ МШП.

У кожному ПБ послідовно кодується його конфігурація (рис. 8, рис. 9), типи пасивних елементів, що використовуються, та значення елементів залежно від їх кількості. Слід зазначити, що чим більше буде виділено бітів на значення пасивних елементів, тим більш точне значення можливо отримати, але генетичний алгоритм в такому випадку буде працювати менш ефективно. Схематичний процес кодування НВЧ МШП у вигляді хромосоми показано на рис. 10.

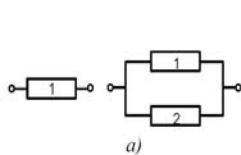


Рис. 8. Структурні схеми пасивних блоків, які входять в активний блок

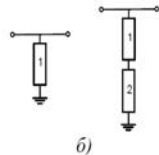


Рис. 9. Структурні схеми пасивних блоків, які дають можливість синтезу нових варіантів схем НВЧ ТП

Загальна довжина хромосоми L_{amp} , що описує НВЧ МШП, визначається за формулою:

$$L_{amp} = \sum_{i=1}^{N_{ab}} L_{ab_i} + \sum_{i=1}^{N_{mn}} L_{mn_i}, \quad (2)$$

де L_{amp} – розмір хромосоми підсилювача у бітах; L_{ab_i} – розмір гену i -го АБ у бітах; L_{mn_i} – розмір гену i -го УКК у бітах; N_{ab} – кількість АБ підсилювача; N_{mn} – кількість УКК підсилювача.

Розрахунок довжини ділянки хромосоми, що описує АБ, можна виконувати за формулою:

$$L_{ab} = \sum_{i=1}^{N_{pb}} L_{pb_i}, \quad (3)$$

де N_{pb} – кількість ПБ у АБ; L_{pb_i} – розмір гену i -го ПБ.

Розрахунок довжини ділянки хромосоми, що описує УКК, можна виконувати за формулою:

$$L_{mn} = \sum_{i=1}^{n_b} L_{b_i}, \quad (4)$$

де n_b – кількість ПБ у УКК; L_{b_i} – розмір гену i -го ПБ.

Довжину ділянки хромосоми, що описує ПБ, можна розрахувати за формулою:

$$L_{pb} = L_b = \sum_{i=1}^{N_{pe}} L_{pe_i} + L_{bt} + L_{ot}, \quad (5)$$

де N_{pe} – кількість пасивних елементів у ПБ; L_{pe} – кількість біт, яка необхідна для кодування пасивного елемента ($C_{vp} \cdot 8 \text{ біт} + 3 \text{ біта} + 1 \text{ біт}$); C_{vp} – кількість змінних параметрів пасивного елемента; L_{bt} – тип ПБ – послідовний або паралельний (1 біт); L_{ot} – конфігурація чотириполосника в ПБ (1 біт * 3).

Для можливості варіювання моделей одного і того ж пасивного елемента в хромосомі виділяється 2 біти (L_i), які визначають індекс використовуваної моделі пасивного елемента. Для можливості варіювання декількох параметрів моделі довжина хромосоми, яка використовується під кодування пасивного елемента, є не фіксована, а змінюється в залежності від максимальної кількості варіюваних параметрів серед всіх

моделей, що використовуються в процесі синтезу (C_{vp}). При цьому загальна довжина хромосоми, яка обчислюється на початку синтезу, розраховується щоб охопити найбільшу кількість можливих варіюваних параметрів. В процесі роботи генетичного алгоритму, при отриманні не максимальної кількості варіюваних параметрів деякі ділянки хромосоми не використовуються, залишаючи довжину хромосоми незмінною. Довжина хромосоми для кодування пасивного елемента розраховується за формулою:

$$L_{pe} = L_{et} + L_i + \sum_{i=1}^{C_{vp}} L_{ev_i} + L_{ne}, \quad (6)$$

де L_{et} – кількість біт, що визначають тип елемента (3 біта); L_i – кількість біт, що визначають індекс використовуваної моделі пасивного елемента (2 біта); L_{ev_i} – кількість біт, що відповідають за значення параметру моделі (8 біт); L_{ne} – біт, який визначає чи належить наступний елемент поточному чотириполоснику (1 біт).

Таким чином, на кожен пасивний елемент виділяється C_{vp} біт незалежно від кількості реально використовуваних в моделі параметрів. При моделюванні використовується тільки необхідна кількість параметрів, а інші ігноруються.

Довжини і можливі значення двійкових кодів, що описують різні компоненти підсилювача, наведені в табл. 1.

Декодування ділянки двійкового коду, що описує певний компонент підсилювача, здійснюється за формулою:

$$X = X_{chv} \% X_{\max}, \quad (7)$$

де X – значення (десятькове), що означає порядковий номер типу компонента; X_{chv} – десяткове число, що відповідає двійковому коду; $X_{\max}$ – максимальне значення (десятькове) можливих типів компонента; $\%$ – операція знаходження залишку від ділення.

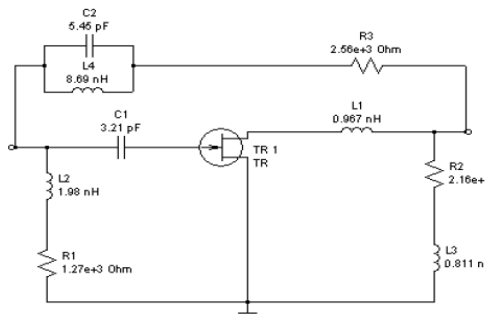


Рис. 11. Підсилювальний каскад

можливо п'ять типів пасивних елементів, теж двійкове значення коду буде переведено в інший діапазон ($0 \div 4$). Ця ситуація ілюструється в таблиці 2.

Приклад декодування АБ (рис. 11) наведений у таблиці 3

Висновки. Реалізована процедура автоматизованого структурно-параметричного синтезу каскадних НВЧ малопотужних підсилювачів по комплексу вимог до характеристик із використанням ідеалізованих моделей пасивних елементів на основі генетичного алгоритму. Представлені результати показують, що еволюційний алгоритм для автоматизованого структурно-параметричного синтезу НВЧ транзисторних підсилювачів дозволяє значно спростити процес проектування НВЧ малопотужних підсилювачів, залишаючи розробнику фактично тільки функції завдання вимог до структури та характеристик синтезованого пристрою. До переваг еволюційного алгоритму для автоматизованого структурно-параметричного синтезу НВЧ транзисторних підсилювачів можна віднести: можливість контролю структури кола та номіналів елементів, що дозволяє отримувати практично реалізовані схеми підсилювачів; використання генетичного алгоритму дозволяє отримувати множину рішень, залишаючи таким чином, кінцевий вибір розробнику; процес

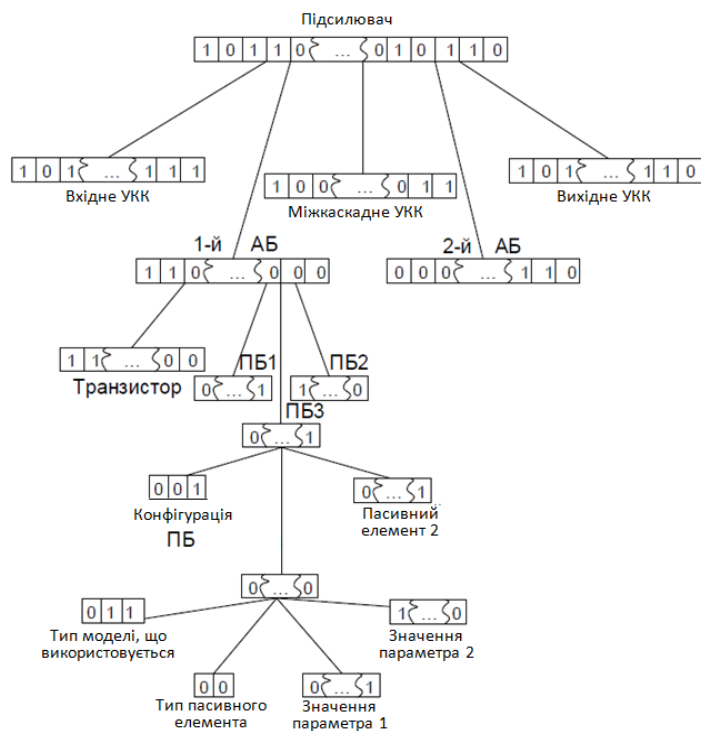


Рис. 10. Схематичний процес кодування НВЧ МПП у вигляді хромосоми

проектування займає набагато менше часу у порівнянні з існуючими підходами.

Таблиця 1

Кодування інформації про підсилювач

Тип коду		Довжина коду (біт)	Значення коду
1. Код ПБ	1.1 Код типу ПБ (не використовується при кодуванні ПБ із АБ)	$L_{bt} = 1$	0 – паралельна; 1 – послідовна.
	1.2 Коди конфігурацій чотириполюсників у ПБ (рис. 8 та рис. 9)	$L_{ot} = 3$	0 – одиночна паралельна; 1 – одиночна послідовна; 2 – подвійна паралельна; 3 – подвійна послідовна; 4 – із чотирьох блоків паралельна; 5 – із чотирьох блоків послідовна.
2. Код пасивного елемента	2.1 Код типу пасивного елемента	$L_{et} = 3$	В залежності від обраної елементної бази
	2.2 Індекс використовуваної моделі пасивного елемента	$L_i = 2$	В залежності від обраної елементної бази
	2.3 Код значення пасивного елемента	$C_{vp} \cdot L_{ev} = C_{vp} \cdot 8$	$(0 \div 256) \cdot C_{vp}$
	2.4 Код зв'язку пасивного елемента	$L_{ne} = 1$	0 – наступний елемент у хромосомі не належить поточному чотириполюснику; 1 – належить.

Таблиця 2

Приклади декодування ділянки коду, який описує тип елемента

Код	Десяткове значення коду	Тип елемента при використанні тільки зосереджених елементів ($X_{\max} = 2$)	Тип елемента при використанні зосереджених і розподілених елементів ($X_{\max} = 4$)
011	3	3%2=1 – індуктивність	3%4=3 – закорочений шлейф
110	6	6%2=0 – конденсатор	6%4=2 – резистор

Таблиця 3

Декодована хромосома підсилювального каскаду

	Тип ПБ	Ген, що відповідає за певну характеристику	Характеристика	Значення характеристики
1	2	3	4	5
Підсилювач	Вхідний послідовний ПБ	1	L_{bt}	Послідовний тип кола
		001	L_{ot}	Конфігурація чотирьохполюсника у колі
		000	L_{et}	0 – ємність
		00	L_i	0 – модель ідеалізованої ємності
		0101001000	C_{pv}	3,21 пФ
		0	L_{ne}	Наступний елемент в хромосомі не належить поточному чотирьохполюснику
	Вихідний послідовний ПБ	1	L_{bt}	Послідовний тип кола
		0011	L_{ot}	Конфігурація чотирьохполюсника у колі
		001	L_{et}	1 – індуктивність
		11	L_i	3 – модель ідеалізованої індуктивності
		0001100010	C_{pv}	0,976 нГн
		0	L_{ne}	Наступний елемент в хромосомі не належить поточному чотирьохполюснику
	Вхідний паралельний ПБ	0	L_{bt}	Паралельний тип кола
		0011	L_{ot}	Конфігурація чотирьохполюсника у колі
		001	L_{et}	1 – індуктивність
		11	L_i	3 – модель ідеалізованої індуктивності
		0011001010	C_{pv}	1,98 нГн
		1	L_{ne}	Наступний елемент в хромосомі належить поточному чотирьохполюснику
		011	L_{et}	3 – опір
		01	L_i	2 – модель ідеалізованого опору
		0110110010	C_{pv}	1271 Ом
		0	L_{ne}	Наступний елемент в хромосомі не належить поточному чотирьохполюснику

Продовження табл. 3

1	2	3	4	5
Підсилювач	Вихідний паралельний ПБ	0	L_{bt}	Паралельний тип кола
		0001	L_{ot}	Конфігурація чотирьохполюсника у колі
		011	L_{et}	3 – опір
		10	L_i	2 – модель ідеалізованого опору
		1011100010	C_{pv}	2162 Ом
		1	L_{ne}	Наступний елемент в хромосомі належить поточному чотирьохполюснику
		100	L_{et}	4 – індуктивність
		00	L_i	0 – модель ідеалізованої індуктивності
		0001010010	C_{pv}	0,118 нГн
		0	L_{ne}	Наступний елемент в хромосомі не належить поточному чотирьохполюснику
	ПБ паралельного 33	0	L_{bt}	Паралельний тип кола
		1010	L_{ot}	Конфігурація чотирьохполюсника у колі
		000	L_{et}	0 – ємність
		11	L_i	3 – модель ідеалізованої ємності
		1000101101	C_{pv}	5,45 пФ
		1	L_{ne}	Наступний елемент в хромосомі належить поточному чотирьохполюснику
		010	L_{et}	3 – індуктивність
		11	L_i	3 – модель ідеалізованої індуктивності
		1101111001	C_{pv}	8,69 нГн
		1	L_{ne}	Наступний елемент в хромосомі не належить поточному чотирьохполюснику
		100	L_{et}	4 – опір
		101	L_i	5 – модель ідеалізованого опору
		1101101000	C_{pv}	2564 Ом
		0	L_{ne}	Наступний елемент в хромосомі не належить поточному чотирьохполюснику

Література

1. Abrie P.L.D. MultiMatch design philosophy / Abrie P.L.D. // Ampsa (PTY) Ltd. – 2000. – p. 14.
2. Multimatch – RF and microwave impedance-matching amplifier and oscillator synthesis software // West: AMPSA Ltd. URL: <http://www.ampsa.com>
3. Linc2 – Computer aided engineering solutions for RF and microwave design. URL: <http://appliedmicrowave.com>.
4. Potter A. HP RF compiler automates schematic capture and extends capabilities of circuit synthesis / Potter A. // Microwave & Wireless Magazine. – 1999. – № 6. – p. 109–117.
5. Бабак Л.И. Теория, методы и алгоритмы автоматизированного синтеза СВЧ транзисторных усилителей на основе декомпозиционного подхода : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Бабак Л.И. – Томск : ТУСУР, 2012. – 360 с.
6. Genesys 7. Technical overview // Eagleware Corp. URL: <http://www.eagleware.com>
7. Програма Smith Chart // Berne University of Applied Sciences. URL: <http://www.hti.bfh.ch>.
8. Filter Solutions. URL: <http://www.nuhertz.com/software/zmatch>. – (Дата обращения: 19.10.2015).
9. Zebulum R.S. Evolutionary electronics: automatic design of electronic circuits and systems by genetic algorithms / R.S. Zebulum, M.A. Pacheco, M.M.B. Vellasco // 22nd ed. CRC press, 2001.
10. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы / Курейчик В.М. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 1998.
11. Zwicky F. Morphological astronomy / F. Zwicky // Springer Science & Business Media, 2012.
12. Алгоритмы, методы, исходники [Электронный ресурс] // АИ, ГА, Нейронные сети. – Режим доступа : <http://algotlist.ru>
13. Емельянов В.В. Теория и практика эволюционного моделирования / Емельянов В.В., Курейчик В.М., Курейчик В.В. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 432 с.

Рецензія/Peer review : 24.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 15.12.2016 р.

Рецензент: д.т.н., професор В.В. Мартинюк

В.Р. ЛЮБЧИК

Хмельницький національний університет

А.В. КЛЕПІКОВСЬКИЙ

Буковинський державний медичний університет, Чернівці

В.О. КОВАЛЕВ

НДВ ОНДІТТ, НПК «Курс», Одеса

МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ КОМПЛЕКСІВ ОПТИКО-ТЕЛЕВІЗІЙНОГО НАВЕДЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СТЕРЕОСКОПІЧНИХ ОПТОСИСТЕМ

В статті розглянуто підходи до аналізу вимірювальної інформації системи оптико-телевізійного наведення, що встановлюється на літальних апаратах та безпілотних літальних апаратах. Розглянуто алгоритми функціонування системи, визначені шляхи подальшого удосконалення системи.

Ключові слова: системи оптико-телевізійного наведення, стабілізація зображення, детектування яскравості меж об'єктів, оптична система.

V.R. LIUBCHYK

Khmelnytskyi National University

A.V. KLEPIKOVSKYI

Bukovyna State Medical University, Chernivtsi

V.O. KOVALEV

Research and production complex "Course", Odesa

DESIGN METHODS OF OPTICAL TV GUIDANCE COMPLEXES WITH STEREOSCOPIC OPTOSYSTEMS

In the article the approaches to the analysis of measurement data systems optical TV guidance, installed on aircraft and unmanned aerial vehicles. The algorithms of the system identified ways to further improve the system.

Further image processing can be done in different ways (Hough transform, Radon transform, etc.) may also add motion detection system (in this case, to apply the morphological transformation of erosion and dilation to highlight the deliberately static objects, and then compare Centres masses of smaller circuits centred weight basis).

Keywords: system optical TV guidance, image stabilization, brightness detection limits objects optical system.

Вступ До недавнього часу алгоритми роботи систем оптичного наведення базувалися на детектування контрастних об'єктів на тлі однорідної поверхні методом алгебри згортки зображення, що істотно обмежувало можливість їх застосування в умовах складного рельєфу, ускладнювало процес розпізнавання об'єктів а також вимагало підсвічування цілі для здійснення вимірювання дальності.

На сьогоднішній день обчислювальні потужності дозволяють перейти до використання систем стереозору, що багато в чому полегшує завдання, що стоять перед комплексами оптико-електронного наведення (далі ОЕН).

Однак, при проектуванні ОЕН виникає ряд конструкторських і програмних завдань, від якості вирішення яких залежить подальша працездатність комплексу:

1. Максимальна стабілізація зображення;
2. Юстирування і синхронізація камер;
3. Адаптивна бінаризація зображення;
4. Фільтрація шумів на зображенні;
5. Детектування контурів і їх порівняння з масками.

Рішення першої з поставлених завдань – стабілізації зображення – традиційно здійснюється зміцненням камери на рухомій гіроплатформі, однак за такого підходу істотно погіршуються масогабаритні показники системи, що веде до обмеження її використання на малорозмірних літальних апаратах (далі ЛА) і БПЛА.

Постановка задачі Для поліпшення характеристик оптичної системи доцільно використовувати гібридний підхід: для великих кутових відхилень з малими кутовими швидкостями застосовувати електромеханічну стабілізацію платформи, для коливань з малими амплітудами і великими кутовими швидкостями – програмну стабілізацію зображення. Особливо ефективний такий підхід за великого оптичного збільшення, коли вібрації ЛА вносять істотний спотворення в відеопотік. Як датчики кутових прискорень можуть бути застосовані розташовані безпосередньо на платформі тривісеві МЕМС-гіроскопи, дані яких використовуються як в процесі стабілізації зображення, так і в подальших обчисленнях. На рис.1 представлена узагальнена компоновочна схема оптичного вузла:

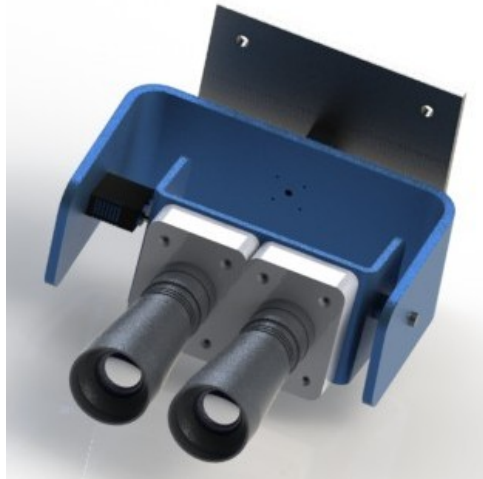


Рис. 1. Можлива компоновка оптичної платформи

Основна частина Алгоритм роботи блоку стабілізації при такому варіанті реалізації оптичної системи спирається на співвідношення (1).

$$F_x = \left\{ \begin{array}{l} f(\alpha), \frac{\partial \alpha}{\partial t} < \omega_{\max}, \Delta y_{ROI} = 0 \\ const, \frac{d\alpha}{dt} > \omega_{\max}, \Delta y_{ROI} = f(\omega_{\alpha}) \end{array} \right\} \quad (1)$$

$$F_y = \left\{ \begin{array}{l} f(\beta), \frac{\partial \beta}{\partial t} < \omega_{\max}, \Delta \beta_{ROI} = 0 \\ const, \frac{d\beta}{dt} > \omega_{\max}, \Delta \beta_{ROI} = f(\omega_{\beta}) \end{array} \right\}$$

Як видно, критерієм вибору способу стабілізації є кутова швидкість обертання ЛА по крену і тангажу ($\omega_{\alpha}, \omega_{\beta}$ відповідно). Порогові величини швидкостей ($\omega_{\max}$) визначаються типами використовуваних сервоприводів (наприклад, для використаних в експериментальних дослідженнях сервоприводів Hitec HS-7950TS цей параметр складає $0,78c^{-1}$ при $U_{\text{вих}}=7.4$ В).

Як вихідні параметри виступають частоти меандрів керування сервоприводами F_x, F_y , а також величини $\Delta y_{ROI}, \Delta \beta_{ROI}$, що показують зміщення центру ROI (Region of interest – цікавої області зображення, рис. 2) по вертикальній осі, а також повороту області відносно центральної точки.

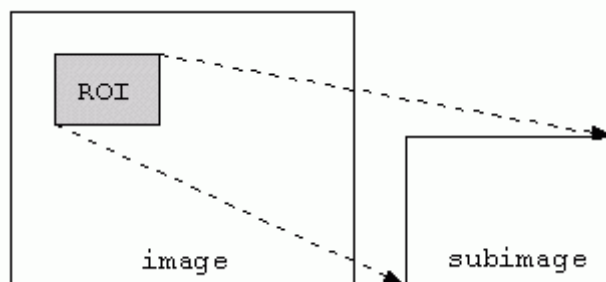


Рис. 2. Отримання субповерхності області ROI

У разі зміщення залежність носить лінійний характер і визначається роздільною здатністю камер, для повороту використовується матриця повороту $M(\beta)$, обумовлена виразом (2).

$$M(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta \\ \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \quad (2)$$

Слід зазначити, що розрахунок тригонометричних функцій в режимі реального часу вимагає істотних обчислювальних витрат, тому доцільно використовувати заздалегідь розраховані таблиці значень матриці. Також при програмуванні системи слід врахувати, що співвідношення сторін субповерхності, що

виділяється для стабілізації до сторонам субповерхності, використовуваної в подальших обчисленнях повинна перевищувати значення $\sqrt{2}$, інакше в умовах різких еволюцій при повороті ROI неминуче будуть виникати крайові «сірі області», що може призвести до втрати системою працездатності.

Вибір розмірів області оброблюваного зображення багато в чому визначається характеристиками ЛА, камер, сервоприводів, а отже є індивідуальним для кожної системи, що розробляється.

На рис. 3 представлений можливий алгоритм роботи блоку стабілізації зображення по тангажу (канал управління по крену діє аналогічно):

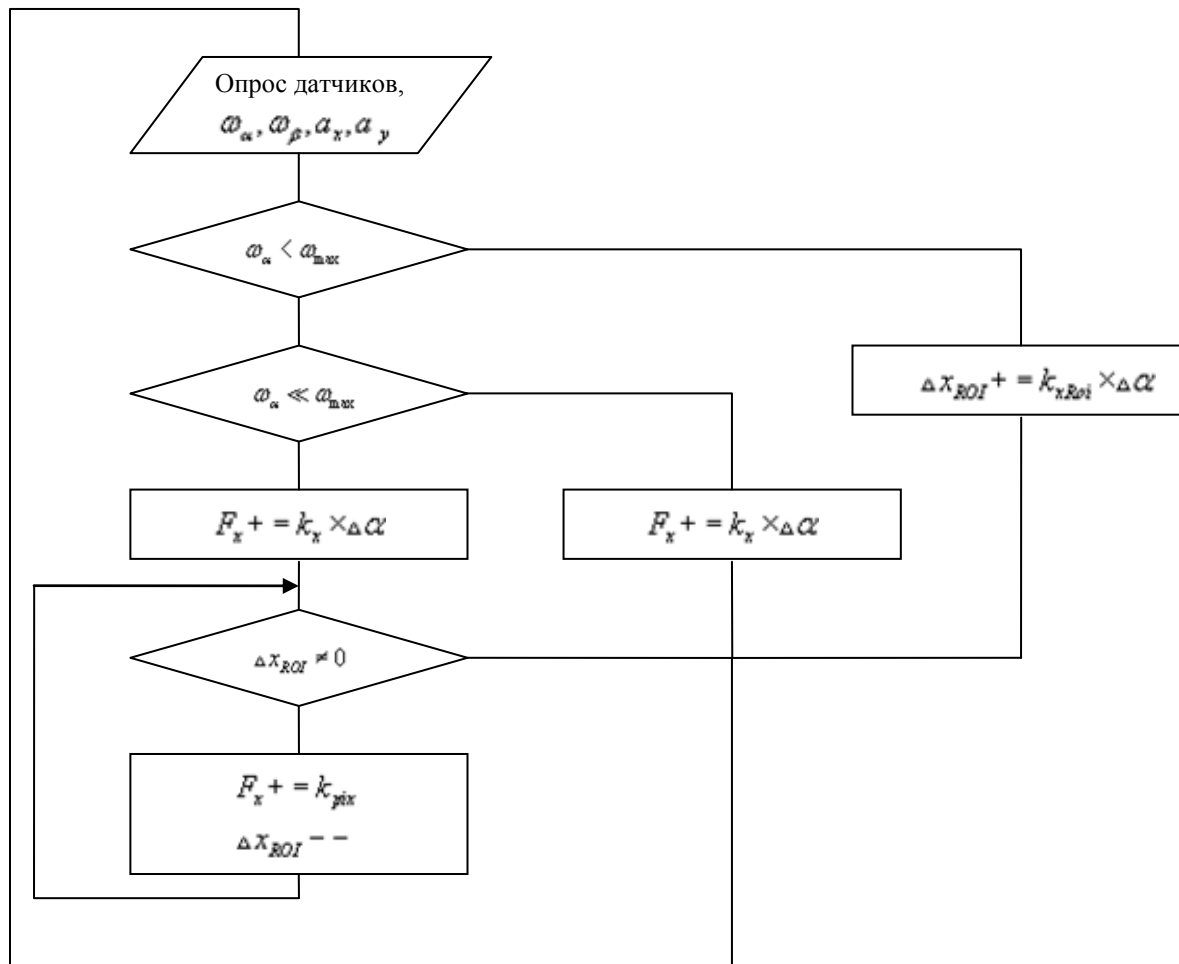


Рис. 3. Алгоритм стабілізації зображення по каналу тангажу

Наступним найважливішим завданням обробки зображення є його бінаризація з метою розвантаження обчислювального пристрою.

Бінаризація зображення в кілька етапів:

1. Перетворення в градації сірого;
2. Згладжування;
3. Знаходження локальних порогів бінаризації;
4. Безпосередньо бінаризація.

Перший етап – перетворення зображення в градації сірого служить для радикального зменшення кількості інформації і дозволяє виробляти подальшу обробку в режимі реального часу. Математично, для кожного пікселя зображення результат даної операції описаний співвідношенням [3]:

$$I = 0,2125 \times R + 0,7154 \times G + 0,0721 \times B, \quad (3)$$

де I – результуюче значення яскравості; R , G , B – значення яскравості основних кольорів. У співвідношенні представлені стандартні вагові коефіцієнти, проте експерименти показують, що їх зміна відповідно до умов місцевості і пори року може істотно підвищити селективність детектора контурів.

Згладжування зображення є в загальному випадку необов'язковою процедурою, крім того при його реалізації слід враховувати висоту польоту, кратність збільшення оптичної системи, а також рівень освітленості фону. Виходячи з вищевказаних параметром згладжування може не проводитись взагалі, або ж проводиться з декількома ітераціями. Математично, оператор являє собою фільтр, наближений до першої похідної Гауссіана $\sigma = 1,4$ (4):

$$B = \frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} * A \quad (4)$$

де A – масив елементів зображення в градаціях сірого.

Відмінною особливістю бінаризації зображень, отриманих зйомкою з повітря, є неможливість використання фіксованого порога бінаризації внаслідок неоднорідності освітленості поверхні і низького контрасту.

На сьогоднішній день найбільш вдалі результати дають методи Ніблек, Крістіана і Бредлі-Рота. Універсального підходу до вирішення завдання в рамках розробки ЗЕК не існує, так як всі вище вказані способи мають свої переваги і недоліки. Наприклад, метод Ніблек забезпечує максимальну швидкість обробки, але при цьому погано працює з низькою контрастністю нерівностями фону; метод Крістіана менш чутливий до шумів, але часто вносить сильно спотворені; метод Бредлі-Рота заснований на отриманні інтегральних зображень з локальними порогоми бінаризації і дає найбільш точні результати, але використовує велику кількість системних ресурсів.

Експерименти показують, що для ОЕН найбільш прийнятним може вважатися модифікований метод Крістіана. Метод реалізує функцію, описану в співвідношенні (5):

$$T = (1 - k) \times m + k \times M + k \times \frac{S}{R} \times (m - M) \quad (5)$$

де T – локальний поріг перетворення, M – мінімальне значення пікселя зображення, R – динамічний рівень девіації в градаціях сірого, m – локальне середнє значення, S – відхилення значень, обчислених в околиці пікселя. У класичному методі, k є фіксованою константою, в модифікації методу цей параметр береться з зведеної таблиці і залежить від освітленості, метеоумов і висоти польоту.

Наступним кроком обробки зображення є знаходження контурів, їх порівняння в кадрах камер, Афінний перетворення і розпізнавання об'єктів згідно маскам.

У загальному випадку, знаходження контурів зводиться до функції (6):

$$f(x) = \frac{I_r - I_l}{2} \left(\operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{2}\sigma} \right) + 1 \right) + I_l$$

$$\operatorname{erf}(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-t^2} dx \quad (6)$$

$$I_l = \lim_{x \rightarrow -\infty} f(x)$$

$$I_r = \lim_{x \rightarrow \infty} f(x)$$

де I_l, I_r – яскравості зліва і праворуч від кордонів відповідно. На практиці використовується виділення кордонів методом обчислення градієнта яскравості зображення – оператор Собеля (7) з наступним округленням кута напрямку вектора градієнта, придушенням немаксимумів, подвійний порогової фільтрацією і трасуванням області неоднозначності.

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} * A$$

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 3 \end{bmatrix} * A \quad (7)$$

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

$$\theta = \arctan \left(\frac{G_y}{G_x} \right)$$

Найбільш достовірні результати при детектуванні контурів отримані застосуванням оператора Кенні, що реалізує вище вказану послідовність обчислень.

Отримані таким чином контури в зображеннях з обох камер зручно порівнювати через їх моменти. Момент контуру визначається формулою (8):

$$m(p, q) = \sum_{i=1}^n I(x, y) x^p y^q \quad (8)$$

де n – число пікселів контуру, p, q – порядок зведення в ступінь відповідного параметра при підсумовуванні.

Такий підхід дозволяє знаходити на зображеннях контури з співпадаючими моментами і координатами по осі ординат, що дозволяє по різниці абсцис між центрами мас визначати відстань до об'єктів і їх реальні розміри.

Наступний етап обробки зображення – Афіне перетворення. Його застосування обумовлене необхідністю порівняння отриманих контурів з масками цілей. Суть операції зводиться до застосування матриці переходу, отриманої за допомогою попередніх обчислень. Функція перетворення в загальному вигляді описується виразом (9):

$$f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n \quad (9)$$

$$f(x) = M \cdot x + v$$

де M – неспецифічний афінор, що враховує кутові і перспективні спотворення зображення.

Висновки Подальша обробка зображення може бути виконана різними способами (перетворення Хафа, перетворення Радону і т.д.), можливо також доповнення системи детекторами руху (в такому випадку слід застосовувати морфологічні перетворення ерозії і дилатації для виділення свідомо статичних об'єктів, а потім порівнювати центри мас більш дрібних контурів з центром мас бази).

Література

1. Мышко С.В. Определение кратчайших путей на множестве атомарных элементов в системах автоматического опознавания изображений / С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Вісник Донецького університету, серія А: Природничі науки. – 2001. – Вип. 2.
2. Hartley R., Zisserman A. Multiple view geometry in computer vision. Cambridge University press, 2004.
3. Распопов В.Я. Микросистемная авионика : учебное пособие / В.Я. Распопов. – Т. : Гриф и К, 2010.
4. Бабич О.А. Обработка информации в навигационных комплексах / О.А. Бабич. – М. : Машиностроение, 1991.
5. Szeliski R. Computer vision: Algorithms and applications. University of Washington, 2008.
6. Pili M. Pollard S. A light-weight text image processing method for handheld embedded cameras. Hewlett-Packard Laboratories, Bristol, England, March, 2002.
7. Trier O.D. Taxt T. Evaluation of binarization methods for document images. IEEE Trans. Machine Intell., vol. 17, no. 3, p. 315, March 1995.
8. Sauvola J. Pitikainen M. Adaptive image binarization Patt. Recogn., vol. 33, pp. 225–236, 2000.
9. Matsushita Y. Ofek E. Ge W. Tang X. Shum H.-Y. Full-frame video stabilization with motion inpainting. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 28, July 2006. 225, 231.

Рецензія/Peer review : 15.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 15.12.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Троцишин І.В.

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ГАЛЬМІВНОГО КОЛА ЧАСТОТНО-КЕРОВАНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

В роботі запропоновано пристрій для діагностування гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода на основі математичної моделі із застосуванням логіко-часових функцій. Запропонований пристрій легко реалізується на програмованих логічних інтегральних схемах будь-яких виробників, що суттєво розширює межі використання пристрою і дозволяє легко інтегруватися у загальну систему діагностування перетворювача частоти.

Ключові слова: діагностування, гальмівні кола, частотно-керований асинхронний електропривод, логіко-часові функції.

V. GRABKO, V. GRABKO, A.A BARTETSKYY

Vinnitsia National Technical University

THE DEVICE FOR DIAGNOSING BRAKING CIRCUIT OF FREQUENCY-CONTROLLED ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE

Abstract – The paper presents the device for diagnosing braking circuit of frequency-controlled asynchronous electric drive, which is based on the model considering logic-time functions usage. The suggested device is easy to realize using programmable logical integrated circuits any manufacturer, which substantially extends device usage boundaries and allows easy integrating into the frequency converter's diagnosing's common system.

Keywords: brake circles, frequency-controlled asynchronous electric drive, logical and timing functions.

Постановка проблеми

Відомо, що особлива роль електропривода проявилася в останні десятиліття, коли в повний зріст постала проблема енергозбереження. Це призвело до того, що поряд з традиційними галузями промисловості, де застосовувався регульований електропривод в силу вимог технологічного процесу (металорізальні верстати, робототехнічні комплекси, металургійне виробництво і т.п.), став впроваджуватися регульований електропривод в ті сфери виробництва, де застосовувався нерегульований асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. Вітчизняний та зарубіжний досвід свідчить про високу ефективність частотно-керованого електропривода в системах водопостачання, теплопостачання, вентиляції тощо. Наприклад, у водопостачанні за рахунок переходу на частотне керування економія електроенергії досягає 50% [1]. Також все більшої популярності застосування частотно-керований асинхронний електропривод набуває як у виробничих механізмах, що мають великий момент інерції і необхідність скиду накопиченої кінетичної енергії при гальмуванні, так і в механізмах, що мають короткі цикли гальмування.

В результаті застосування частотно-керованого асинхронного електропривода з гальмівним колом зі скидом енергії на гальмівний резистор та зростаючою тенденцією розширення їх застосування, є необхідність створення пристроїв діагностування гальмівного кола перетворювача частотно-керованого асинхронного електропривода. Адже передчасний вихід з ладу гальмівного кола такого електропривода може призвести до простою виробництва, що понесе збитки для підприємства, погіршення якості продукції, пошкодження технологічного обладнання, а також може нести загрозу життю та здоров'ю робочому персоналу або пасажиром, якщо мова йде про транспорт, де в якості приводного використовують електричний двигун.

Аналіз попередніх досліджень

В роботі [2] запропонована система неперервного контролю та діагностування технічного стану тягового асинхронного електропривода, що базується на порівнянні спектрального складу вхідного струму автономного інвертора тягового електропривода з базою даних його спектрів при наявності несправностей. Автори зазначають, що запропонована система неперервного контролю та діагностування технічного стану тягового асинхронного електропривода базується на порівнянні спектрального складу вхідного струму автономного інвертора тягового електропривода з базою даних його спектрів при несправностях, що дозволяє виявляти несправності обладнання тягового електропривода на ранніх стадіях розвитку дефектів. Але її ефективність знижується при виникненні несправностей, інформації про які немає в базі. Запропонований спосіб діагностики технічного стану електропривода з оцінки динаміки його параметрів [3] полягає у вимірюванні струму, напруги, швидкості і керуючого завдання електропривода з певним інтервалом часу, перетворенні параметрів в цифрову форму і передачі в персональний комп'ютер для обробки. Програмно реалізована і навчена на конкретному електроприводі перед його експлуатацією рекурентна нейронна мережа відтворює динаміку параметрів електропривода, після чого проводиться порівняння результату динаміки нейромережевої моделі з реальною динамікою електропривода. В несправному електроприводі виникає відхилення динаміки його параметрів від моделі і розраховується функція неузгодженості динаміки, за характером функції якої проводиться оцінка технічного стану і прогноз ресурсу електропривода. Але такий підхід не враховує можливість попередження наближення

електропривода чи його окремих складових до аварійного стану, що робить його непридатним для діагностування гальмівного кола частотного електропривода. Відомий пристрій для пошуку несправностей [4], призначений для контролю роботоздатності складних електромеханічних об'єктів, до яких можна віднести частотно-керовані асинхронні електроприводи. Враховуючи обмеженість використання даного пристрою, він не є придатним для діагностування гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода.

Мета роботи

Метою роботи є підвищення надійності роботи частотно-керованого асинхронного електропривода шляхом створення пристрою діагностування його гальмівного кола на основі математичної моделі обробки сигналів із застосуванням логіко-часових функцій.

Матеріали досліджень

В роботі [5] запропонована математична модель системи діагностування гальмівного кола перетворювача частотно-керованого асинхронного електропривода із застосуванням логіко-часових функцій (ЛЧФ) та описано принцип, за яким формується таблиця зразкових станів гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода (таблиця 1). В таблиці станів гальмівного кола перетворювачів частотно-керованого асинхронного електропривода число «1» відповідає попаданню параметра в зону допуску; «0» – виходу за межі зони допуску відповідної діагностичної ознаки.

Таблиця 1

Стани гальмівного кола перетворювача частотно-керованого асинхронного електропривода

Стани	Діагностичні ознаки гальмівного кола				
	ΔU_C	U_{vs0}	I_g	T_r°	T_{vs0}°
Q_0	1	1	1	1	1
Q_1	1	0	1	1	0
Q_2	0	1	0	1	1
Q_3	0	0	1	1	0
Q_4	0	0	0	1	1

У таблиці 1:

Q_0 – справний стан; Q_1 – справний стан, з перегрівом силового модуля; Q_2 – несправний гальмівний резистор; Q_3 – критичний стан; Q_4 – несправний стан. ΔU_C – перенапруга на конденсаторі фільтра; U_{vs0} – напруга на IGBT модулі; I_g – струм через гальмівний резистор; T_r° – температура гальмівного резистора; T_{vs0}° – температура IGBT модуля.

У відповідності до таблиці 1 формуються зразкові ЛЧФ і в результаті почергового додавання за модулем два двох ЛЧФ (1) зі сформованих та вимірних сигналів, що являються діагностичними ознаками поточного стану гальмівного кола, отримуємо результуючі ЛЧФ, з яких за діагностичний висновок приймається ЛЧФ, яка має найменший відрізок існування.

В загальному випадку операція додавання за модулем два двох ЛЧФ $f_1(t, t_1, T_1)$ та $f_2(t, t_2, T_2)$ описується виразом (1) [6]

$$f_1(t, t_1, T_1) \oplus f_2(t, t_2, T_2) = \begin{cases} t - t_m, & \text{якщо } t_m < t \leq t_j, \\ t - (t_m + T_m), & \text{якщо } (t_m + T_m) < t \leq (t_j + T_j), \\ 0, & \text{якщо } (t \leq t_m) \wedge (t_i < t \leq (t_m + T_m)) \wedge (t > (t_j + T_j)), \end{cases} \quad (1)$$

де $t_m = \min\{t_1, t_2\}$,

T_m – відповідна часовій координаті t_m тривалість відрізка існування, $t_j = \max\{t_1, t_2\}$,

T_j – відповідна часовій координаті t_j тривалість відрізка існування.

Для прикладу, графічна ілюстрація додавання за модулем два двох ЛЧФ $f_1(t, t_1, t_2, A_i, T_1, T_2)$ та $f_2(t, t_1, t_2, A_i, T_1, T_2)$, представлена на рис. 1, а аналітичний розв'язок описується виразом (2).

$$f_1(t, t_1, t_2, A_i, T_1, T_2) \oplus f_2(t, t_1, t_2, A_i, T_1, T_2) = \begin{cases} t - (t_1 + T_1), & \text{якщо } (t_1 + T_1) < t \leq (t_2 + 2A_i), \\ 0, & \text{якщо } (t < (t_1 + T_1)) \wedge (t > (t_2 + 2A_i)). \end{cases} \quad (2)$$

На основі математичної моделі діагностування гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода розроблено пристрій для діагностування гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода (рис. 2).

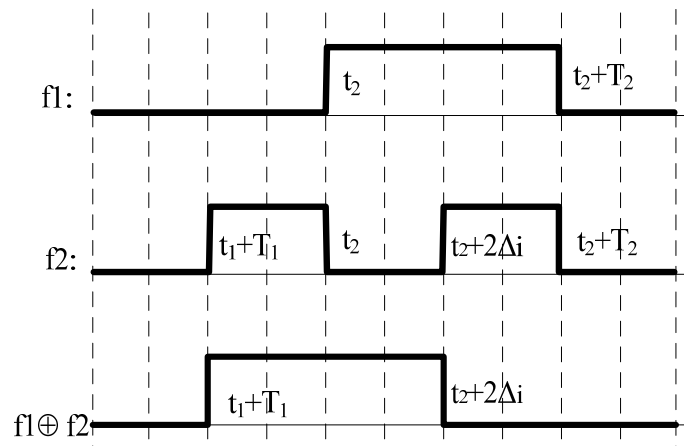


Рис. 1. Графічна ілюстрація операції виключної диз'юнкції двох ЛЧФ

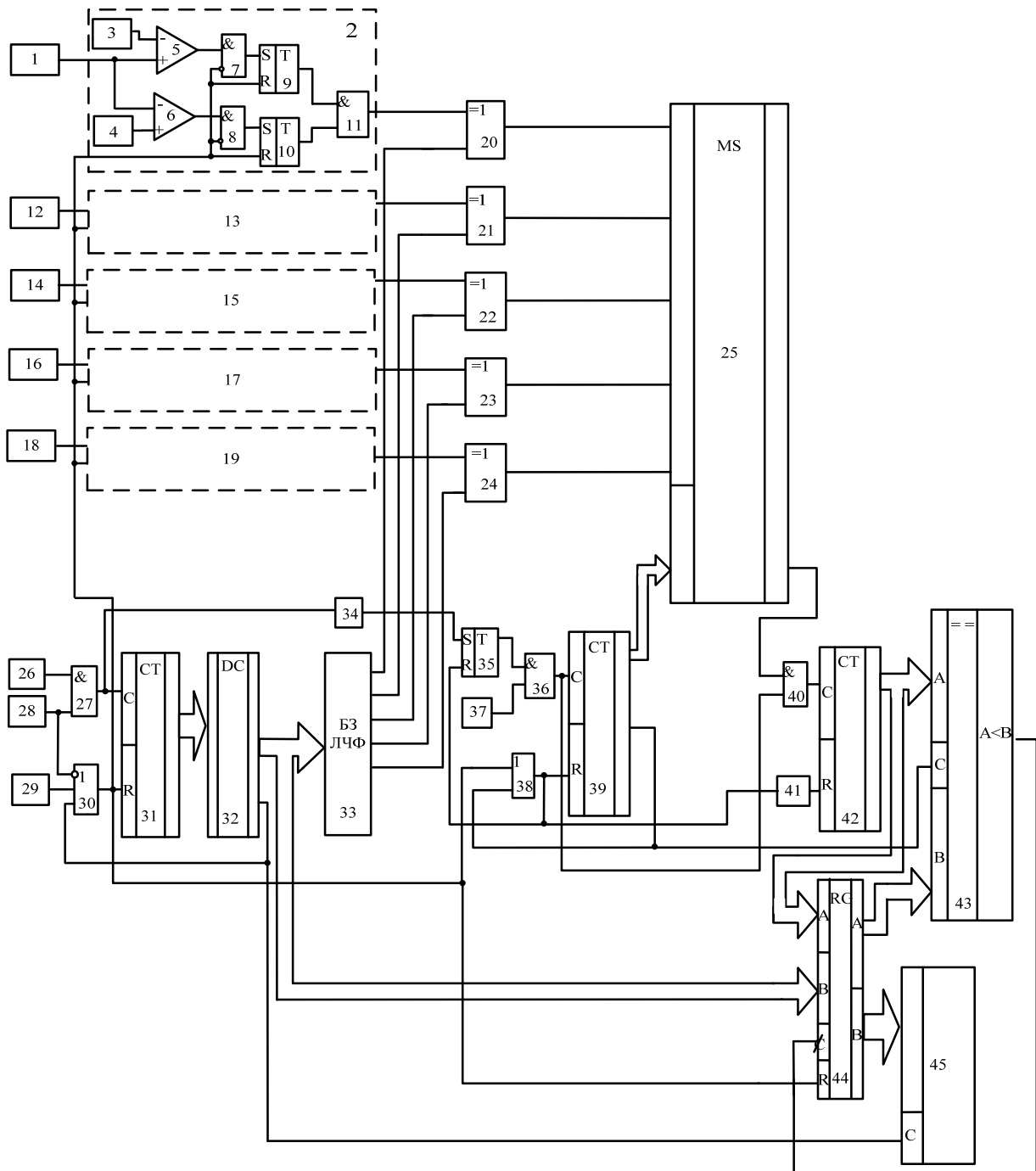


Рис. 2. Структура пристрою діагностування гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода

На рис. 2: 1 – сенсор напруги на конденсаторі фільтра; 2 – блок визначення діапазону зміни допустимого значення напруги на конденсаторі фільтра, в якому: (3 – блок мінімального значення напруги на конденсаторі фільтра; 4 – блок максимального значення напруги на конденсаторі фільтра; 5, 6 – компаратори; 7, 8 – елементи ЗАБОРОНА; 9, 10 – тригери; 11 – елемент І); 12 – сенсор напруги на IGBT модулі; 13 – блок визначення діапазону зміни допустимого значення напруги на IGBT модулі; 14 – сенсор струму; 15 – блок визначення діапазону зміни допустимого значення струму, 16 – сенсор температури гальмівного резистора; 17 – блок визначення діапазону зміни допустимого значення температури гальмівного резистора; 18 – сенсор температури IGBT модуля; 19 – блок визначення діапазону зміни допустимого значення температури IGBT модуля; 20, 21, 22, 23, 24 – елементи ВИКЛЮЧНЕ АБО; 25 – комутатор; 26, 37 – генератори імпульсів; 27, 36, 40 – елементи І; 28 – блок початку гальмування; 29 – блок установки нуля; 30, 38 – елементи АБО; 31, 39, 42 – лічильники імпульсів; 32 – дешифратор; 33 – блок зразкових логіко-часових функцій; 33, 41 – формувачі імпульсів; 34 – тригер; 43 – цифровий компаратор; 44 – регістр; 45 – блок індикації.

Вимірювання діагностичних параметрів здійснюється за допомогою сенсорів напруги на конденсаторі фільтра 1, напруги на IGBT модулі 11, струму 13, сенсорів температури гальмівного резистора 15 та температури IGBT модуля 17. Варто зауважити, що кількість сенсорів може бути збільшена в залежності від кількості вимірюваних параметрів. Визначення попадання вимірюваних параметрів у діапазон допустимих значень розглянемо на прикладі сенсора напруги на конденсаторі фільтра 1. Напруга, пропорційна вимірюваній напрузі на конденсаторі фільтра, з виходу сенсора 1 поступає на вхід блока визначення діапазону зміни допустимого значення напруги на конденсаторі фільтра 2, в якому блоками 3 та 4 задається верхній та нижній допустимий рівень вимірюваного параметра. У випадку, якщо вимірювана напруга знаходиться в діапазоні допустимих значень, то на виході компараторів 5 та 6 з'являються сигнали логічної одиниці та через відкриті елементи ЗАБОРОНА встановлюють тригери 9 та 10. В результаті цього на виході елемента І 11 формується сигнал логічної одиниці. Якщо сигнал вимірюваної напруги виходить за допустимі межі, то на виході елемента І 11 встановлюється сигнал логічного нуля. Блоки 13, 15, 17, 19 працюють аналогічно блоку 2. В результаті обробки сигналів із виходів сенсорів 1, 12, 14, 16, 18 на виходах блоків 2, 13, 15, 17, 19 формується ЛЧФ поточного стану гальмівного кола. Елементи з 26 по 33 призначені для почергового вибору зразкових станів із блока зразкових ЛЧФ 33, а також для визначення початку та закінчення процесу гальмування. Елементи ВИКЛЮЧНЕ АБО призначені для додавання за модулем два двох ЛЧФ поточного стану гальмівного кола та зразкового, що характеризує несправність гальмівного кола. Елемент 25 та елементи з 34 по 42 призначені для визначення відрізка існування ЛЧФ, отриманої в результаті додавання за модулем два. Елементи 43 та 44 призначені для визначення ЛЧФ з найменшим відрізком існування з подальшим виведенням діагнозу на пристрої індикації 45.

Висновки

Запропоновано пристрій для діагностування гальмівного кола частотно-керованого асинхронного електропривода, реалізований із використанням математичного апарату логіко-часових функцій. Здійснено синтез апаратного забезпечення, необхідного для побудови пристрою діагностування. Запропонований пристрій легко реалізується на програмованих логічних інтегральних схемах будь-яких виробників, що суттєво розширює межі використання пристрою і дозволяє легко інтегруватися у загальну систему діагностування перетворювача частоти.

Література

1. Фролов Ю.М. Состояние и тенденции развития электропривода / Ю.М. Фролов // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2006. – № 1. – С. 4–10.
2. Яцько С.І. Система моніторингу стану асинхронного тягового електропривода рухомого складу / С.І. Яцько, Я.В. Ващенко // Автоматизовані системи електричного транспорту : збірник наукових праць Укр.ДУЗТ. – 2015. – № 153. – С. 79–84.
3. Пат. РФ. № 2546993 МПК G01R31/34 (2006.01). Способ диагностики технического состояния электропривода по оценке динамики его параметров / Волков В.Н., Кожевников А.В. – Дата подачи заявки : 16.10.2013, опубликовано : 10.04.2015.
4. Пат. СССР № 1287118, М. кл. G 05 В 23/02. Устройство поиска неисправностей / С.И. Поспелов, В.Н. Украинцев, Е.В. Васильев. – Бюл. № 4, 30.01.1987.
5. Грабко В. В. Застосування логіко-часових функцій у задачі діагностування гальмівних кіл перетворювачів частотно-керуваних асинхронних електроприводів / В. В. Грабко, С. М. Левицький, А. А. Бартецький // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2016. – № 1. – С. 25–31.
6. Сачанюк-Кавецька Н.В. Елементи око-процесорної обробки зображень у логіко-часовому середовищі : монографія / Сачанюк-Кавецька Н.В., Кожем'яко В.П. – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 135 с.

Рецензія/Peer review : 29.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 16.12.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Скиба М.С.

ПОРІВНЯННЯ РЕЖИМІВ ПЕРЕДАЧІ MIMO ТА SISO В БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖАХ

Виконується порівняння режимів передачі MIMO та SISO в бездротових мережах на основі імітаційного моделювання в середовищі Matlab. Для імітаційного моделювання радіоканалів в умовах відсутності прямої видимості використовувалась релеєвська модель. На основі проведених досліджень зроблені висновки дані рекомендації про доцільність застосування того чи іншого способу передачі інформації.

Ключові слова: MIMO, SISO, OFDM, Matlab.

I.V. GULA, K.L. HORIASCHENKO, V.V. MISHAN
Khmelnytsky national university

COMPARISON OF ENERGY EFFICIENCY OF MIMO AND SISO IN WIRELESS NETWORKS

Performing comparisons Mode MIMO and SISO wireless networks based on simulation modeling in the environment of Matlab. For simulation of radio channels in the absence of sight Rayleigh model used. Based on the research findings made recommendations on the feasibility of a particular method of data transmission.

Keywords: MIMO, SISO, OFDM, Matlab

Мета роботи. Дослідити системи передачі MIMO та SISO в бездротових мережах (WiMAX, Wi-Fi) на завадостійкість та порівняти рівень бітових помилок у цих системах при різних ВСІІ.

Вступ.

Одним з основних завдань при побудові сучасних цифрових мереж зв'язку є створення високошвидкісних каналів. Вирішення цього завдання для бездротових систем зв'язку наштовхується на ряд труднощів, так як в радіодіапазоні завжди існує дефіцит виділяємої смуги частот і обмеження на збільшення випромінюємої потужності.

Одним з перспективних напрямків по створенню високошвидкісних каналів в бездротових телекомунікаційних системах є використання систем з багатьма входами і виходами MIMO (Multiple Input Multiple Output). Сучасні системи зв'язку MIMO мають досить високі технічні характеристики: швидкість передачі даних може досягати кількох сотень Мбіт/с; імовірність бітових помилок до 10^{-5} . Важливою перевагою також є те, що на відміну від систем з одним входом і виходом SISO (Single Input Single Output) системи MIMO забезпечують істотну, у два й більше разів, економію частотного ресурсу за рахунок використання декількох просторових каналів у тому самому діапазоні частот[4].

Разом з тим лінії зв'язку з системами MIMO мають цілий ряд специфічних характеристик. Так, в цих лініях проходження радіосигналу залежить значною мірою від угруповання об'єктів, розташованих між передавальними і приймальними антенами. При зміні просторового розташування об'єктів в просторі між передавальними і приймальними антенами і / або в разі мобільних абонентів механізм багатопробного поширення сигналу ускладнюється. Зі збільшенням швидкостей об'єктів по відношенню до антенних структур вказаний механізм ще більше ускладнюється і, відповідно, ускладнюється завдання поділу каналів на прийомі в системах MIMO. Крім цього, в системах MIMO антени, які обслуговують окремі просторові канали, в практичних реалізаціях повинні мати прийнятні габарити і рознесення, а це в свою чергу ускладнює рішення задачі розділення каналів на приймальній стороні. Таким чином, при побудові бездротових систем (WiMAX, Wi-Fi) можна використовувати, як системи SISO так і MIMO, або ж переключення режимів передачі між SISO та MIMO. Тому, моделювання режимів передачі SISO та MIMO та визначення їх оптимального застосування при певних умовах в бездротових мережах (WiMAX, Wi-Fi) є актуальною задачею.

Основний розділ

MIMO раніше представлялася лише як технологія рознесеного прийому (маємо одну передавальну і N прийомних антен). Принцип обробки був простий: в двох прийомних гілках порівнювалось відношення сигнал / шум і відповідно до оцінки цього значення кожній гілці обробки призначалися вагові коефіцієнти, які відіграють роль при прийнятті рішення, грубо кажучи, що було передано: 0 або 1. Ця система так і була названа критерієм оптимального вагового складання (MRC).

Властивості системи зв'язку можна описати 2 пунктами: завадостійкість (ЗС) і пропускна здатність (ПЗ). Незважаючи на те, що сьогодні ми все міряємо швидкостями передачі (пропускна здатність - максимальна швидкість забезпечується системою зв'язку) на чільне місце поставлено саме достовірність передачі (показник: ймовірність помилок).

У будь-якій системі завжди існує механізм обміну ПЗ на ЗС. Саме тому при різкому погіршенні умов передачі (ви пішли з планшетом з кабінету на кухню) ви помітите в своєму браузері не повідомлення про помилку, а відчутне зниження швидкості. MIMO зробило здавалося неможливе: не змінюючи смугу

частот, енергетику сигналів, тільки за рахунок фізичного збільшення кількості антен і ускладнення методів обробки вдалося збільшити теоретичну ПЗ і ЗС систем зв'язу в рази[4].

У системах МІМО сигнал на приймачі після проходження через радіоканал є сумою добутку вихідного сигналу і деякої комплексної передавальної функції (КПФ) та шуму. Завмирання які виникають в радіоканалі якраз і складають КПФ. Закон розподілу КПФ, як випадкової величини, визначає наявність прямої видимості між передавачем і приймачем і фактори, які впливають на багатопроменеве поширення сигналу (стіни в квартирі, будинки в місті і т.д.)[4].

Так як в системі присутні кілька антен, то шляхи які проходять сигнали з різних антен теж різні, отже різними будуть і їх КПФ для кожної пари передавач-приймач. Це принципово важливий момент. Виходячи зі структури системи КПФ всі її підканали можна звести в матрицю.

Виходить що кожен канал має свої характеристики, які відрізняються від сусідніх, отже сигнал, який передається через нього можна однозначно відокремити від сигналів переданих по інших каналах, переданих в цій же смузі частот.

Алгоритми прийняття рішення МІМО досить непрості, але всі вони побудовані на знанні КПФ на приймачній стороні. Але як це реалізувати, якщо на певній частоті ми передаємо інформацію, а це випадкова величина? Найефективніше рішення - введення в структуру сигналу пілотів - сигналів із заздалегідь відомими параметрами за допомогою яких можна проводити оцінку каналу[4].

У системах радіодоступу МІМО з декількома власними просторовими каналами в багатопроменевому каналі можуть використовуватися методи збільшення пропускної здатності на основі перерозподілу потужності в передавальних антенах, що управляються по зворотному каналу, однак у них не передбачені механізми поліпшення показників по ймовірності помилок.

Для моделювання систем МІМО і SISO вибрана ідеальна модель Релеєвського каналу. Для моделювання системи МІМО був обраний алгоритм блочного просторово-часового кодування по схемі Аламоуті[1, 2].

Модель сигналу також вибрана сама проста, оскільки якщо брати сигнал OFDM, тоді повинні бути інші умови до моделі каналу, оскільки реальні канали частотно-селективні (КПФ навіть сусідніх піднесучих може мати велику різницю).

Математичне моделювання систем МІМО і SISO проведемо на найпростішому прикладі. У нас є 2 антени на передачу і одна на прийомі.

Проходячи шлях від передавача(T) до приймача (R) радіохвиля загасає (втрачає в енергетиці), причому те наскільки вона втратить залежить від того, чи є між передавачем і приймачем зона прямої видимості(рис.1). Якщо вона є, то основна вина за втрати лягає на втрати середовища поширення, якщо прямої видимості немає, то, стикаючись з різними перешкодами хвиля йде до пункту призначення кількома шляхами (багатопроменеве поширення) і відповідно кожен промінь проходить різну відстань. На прийомі всі ці промені можуть складатися в протифазі, що додатково знижує інтенсивність сигналу, що змушує рівень сигналу постійно «плавати». Тому в зоні невпевненого прийому мобільні телефони ніяк не можуть визначитися скільки «паличок сигналу» показувати.

Все це є завмираннями. Бувають вони різними і можуть описуватися різними законами. При наявності постійної компоненти (наявності прямої видимості) підійде розподіл Райса, а при її відсутності - Релеєвське(окремий випадок). У каналу є комплексна передавальна функція каналу (яка визначає його ФЧХ і АЧХ), причому різна для кожного моменту часу для кожного з прийнятих сигналів. Сигнали для кожної з прийомних антен проходять різні шляхи.

Представлена система кодування в каналі МІМО (2x1). Схема має дві передаючих антени і одну прийомну (рис. 1).

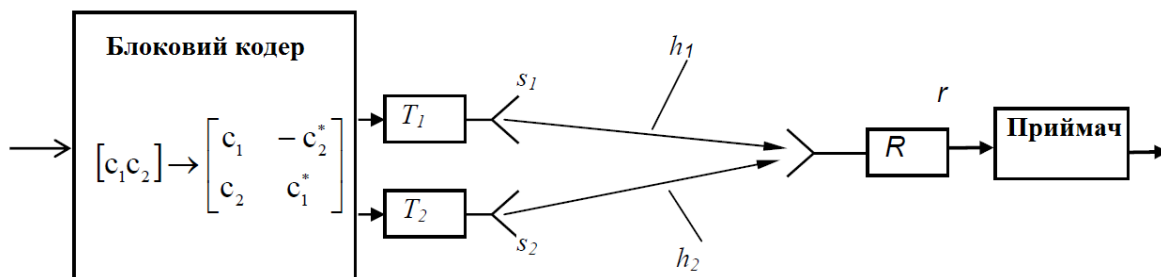


Рис. 1. Система кодування в каналі МІМО

Відповідно до методу просторово-часового кодування[2, 3], вхідний потік даних розбивається на пари $[c_1, c_2]$, причому, на першому напівтактовому інтервалі символ c_1 передається через антену T_1 , а символ c_2 передається через антену T_2 . На другому напівтактовому інтервалі порядок передачі змінюється: через антену T_1 передається інверсія символу c_2 (на малюнку позначений, як $-c_2^*$), а символ c_1 передається через антену T_2 (на малюнку позначений, як c_1^*).

Правило розташування символів c у вигляді матриці в структурі кодера на рис.1 і є блоковий код

Alamouti.

Даний алгоритм зручно представити в вигляді матриці, де номер рядка буде відповідати номеру передавача, а номер стовпчика - номеру напівтакту (в загальному випадку - крок такту) передачі[1]:

$$H = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 \\ -c_2^* & c_1^* \end{bmatrix} \quad (1)$$

В результаті на вході ми отримуємо 2 сигнали (мультиплікативні відгуки за перший і другий такт), провівши ряд математичних перетворень ми отримуємо вихідний сигнал, а точніше пару цих сигналів. Тобто кожен з цих сигналів передавався 2 рази[3].

Кодова швидкість тут дорівнює 1, тобто дана схема не дає виграшу за швидкістю передачі даних, але може використовуватися для запобігання негативним впливам замирань (тут передбачається, що обидві антени не можуть одночасно перебувати в «поганих» з точки зору перешкод положеннях). Декодування відбувається за схемою максимальної правдоподібності.

Проведемо моделювання і подивимось виграш MIMO перед SISO. Аналіз проводився в середовищі Matlab при наступних входних даних: кількість передавальних антен - 2; кількість приймальних антен - 1; типи модуляції: КАМ-4, КАМ-16, КАМ-32, КАМ-64, КАМ-128, КАМ-256 (на графіках представлені результати для двох типів модуляції КАМ-4, КАМ-128); кількість символів, які передаються в каналі $n = 1\,000\,000$; діапазони відношення сигнал/шум (ВСШ): від -10 до 0, від 10 до 35 дБ.

На рис. 2 представлені залежності ймовірності бітової помилки від відношення сигнал / шум в діапазоні від 10 до 35 дБ при різних типах модуляції, кількість символів, які передаються в каналі $n = 1\,000\,000$:

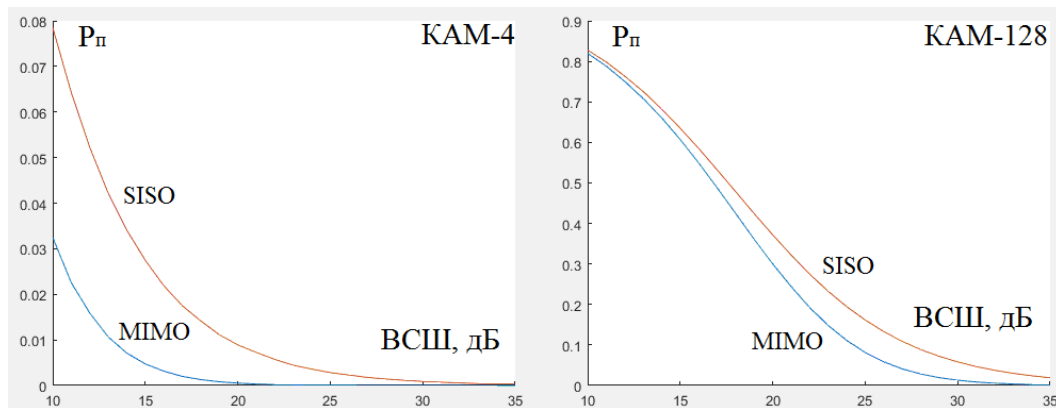


Рис. 2. Ймовірності бітової помилки від відношення сигнал / шум

Як видно з представлених вище графіків (рис.1) ймовірність бітової помилки значно нижча у систем MIMO. Наприклад, при ймовірності бітової помилки $P_b = 0,005$ (модуляція КАМ-4) виграш складає більше 10 дБ, і це значна різниця. Причому зі збільшенням позиційності КАМ зменшується виграш у завадостійкості, що пов'язано зі зменшенням Евклідової відстані між сигнальними точками. Тому, потрібно збільшувати енергетичні витрати на компенсацію можливих втрат інформації, викликаних амплітудно-частотними спотвореннями. Також, ми бачимо що ймовірність бітової помилки знижується зі збільшенням ВСШ.

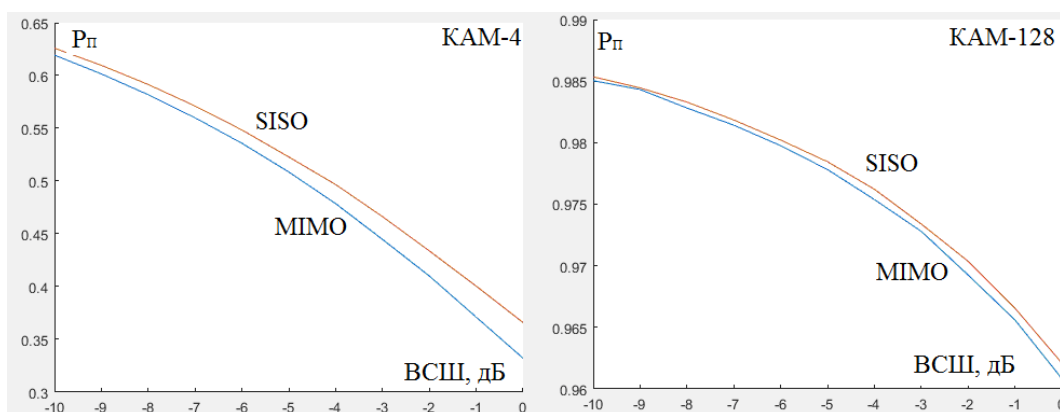


Рис. 3.

Тому нами були проведені дослідження залежності ймовірності бітової помилки від ВСШ в

діапазоні -10 до 0 дБ. На рис. 3 представлені залежності ймовірності бітової помилки від відношення сигнал / шум в діапазоні від -10 до 0 дБ при різних типах модуляції, кількість символів, які передаються в каналі $n = 1\,000\,000$:

Як видно з представлених вище графіків (рис.2) ймовірність бітової помилки при від'ємному відношенні сигнал шум практично однакова у систем MIMO та SISO, і суттєвої переваги при такому ВСШ у систем MIMO не спостерігається.

Висновок:

Застосування технології MIMO при побудові бездротових систем (WiMAX, Wi-Fi) має, як переваги так і недоліки. Система MIMO в порівнянні зі схемою SISO має підвищену стійкість до виникнення бітових помилок в наслідок завмирань в радіоканалі. Ймовірність бітової помилки знижується зі збільшенням ВСШ. В такому випадку виграш для ймовірності помилки $P_{\text{п}} = 10^{-3}$ може бути більше 10дБ. Але при від'ємних ВСШ ймовірність бітової помилки у систем SISO та MIMO практично однакова і вже не має такої суттєвої переваги у систем MIMO. Також дуже чутливими виявилися системи MIMO до збільшення позиційності модуляції. Зі збільшенням позиційності КАМ зменшується виграш у завадостійкості у систем MIMO. Тому, при використанні високої позиційності модуляції, та низького ВСШ сміливо можна використовувати системи SISO, які володіють такими перевагами, як менші габаритні розміри, менша вартість, менша потужність.

Література

1. Alamouti S.M. Space-time block coding: A simple transmitter diversity technique for wireless communications. – IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Oct. 1998, vol. 16, p.1451–1458
2. Alamouti S. M. A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications / IEEE J. Select. Areas Communication. –Vol. 16. No. 8.– 1998.– P. 1451 - 1458.
3. Банкет В.Л. Методи просторово-часового кодування для систем радіосвязи / В.Л. Банкет, Н.В. Незгазинская, М.С. Токарь // Цифрові технології "ОНАЗ ім. Попова". – Одеса. : Вид-во ОНАЗ. – №6. – 2009. – С. 5-16.
4. Бакулин М.Г.Технология MIMO: принципы и алгоритмы /М.Г. Бакулин , Л.А. Варукина, В.Б. Крейнделін // . - М.: Горячая линия - Телеком, 2014. - 244 с.

Рецензія/Peer review : 24.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 15.12.2016 р..

Стаття рецензована редакційною колегією

ПІДВИЩЕННЯ СЕРЕДНЬОЇ ТЕХНІЧНОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ МІСЬКИХ МАРШРУТНИХ АВТОБУСІВ

Викладено методику та результати проведення експериментальних досліджень швидкісних характеристик руху міських маршрутних транспортних засобів (ТЗ) категорії М2. Проаналізовано експериментальні дані щодо параметрів повної маси автобуса, наявних штучних перешкод руху на перегонах маршруту та їх впливу на показник середньої технічної швидкості руху. Побудована математична модель руху автобуса, яка відображає залежність між середньою технічною швидкістю, повною масою ТЗ та наявними перешкодами руху. Показано, що покращення реалізації тягово-швидкісних властивостей автобуса в умовах інтелектуальних транспортних систем (ІТС) міста досягається шляхом усунення перешкод руху та керуванням його наповненістю пасажирами.

Ключові слова: експлуатація маршрутних автобусів, середня технічна швидкість, перешкоди руху, інтелектуальні транспортні системи.

V.V. RUDZINSKYI, V.P. SHUMLIKIVSKYI

Zhytomyr State Technological University

ON THE ISSUE OF INCREASING THE AVERAGE TECHNICAL SPEED OF CITY ROUTED BUSES

Abstract - The research paper outlines methods and results of experimental studies considering speed characteristics of city routed vehicles of M2 category. Experimental data on the parameters of the buses' curb weight, existing artificial barriers to movement on the route and their impact on the average technical speed were thoroughly analyzed. In addition, a mathematical model of routed bus movement, which reflects correlation between the average technical speed, curb weight of vehicle and the existing obstacles to movement was developed. It was concluded, that the improvement of traction properties and speed characteristics of bus under conditions of the intelligent transport systems (ITS) is achieved by elimination of traffic obstacles and control on the fullness of the bus.

Keywords: exploitation of routed buses, the average technical speed, traffic obstacles, intelligent transport systems.

Постановка задачі

Зростання транспортного навантаження на міську дорожню мережу ускладнює експлуатацію транспортних засобів та погіршує якість наданих послуг, в тому числі із перевезення пасажирів маршрутними транспортними засобами категорії М2. Ускладнені дорожні, транспортні умови та умови руху автобуса негативно впливають на безпеку та ефективність їх експлуатації в містах. В процесі експлуатації маршрутних транспортних засобів в містах актуальним постає питання найбільш повної реалізації тягово-швидкісних властивостей. На сучасному етапі впровадження інформаційно-комунікаційних технологій надає можливість ефективно вирішувати цю задачу.

Аналіз досліджень та публікацій

Питання збільшення інтенсивності руху при наближенні до центру міста вивчалось Горбачовим П.Ф. [1], автором аналітично підтверджено зростання інтенсивності руху ТЗ при наближенні до центру міста. Класифікацію умов функціонування дорожніх транспортних засобів (ДТЗ) розкрито в роботі [2], визначено відносні коефіцієнти зміни швидкості руху ТЗ від експлуатаційних умов. Авторами Гашуком П.М. та Пельо Р.А. оцінюється вплив миті початку перемикання передач на ефективність розгону транспортного засобу та на витрату палива при заданому рівні динамічності [3].

Науковцями: Вовк Л.П., Македонською Л.А., Волковим В.П., Комовим Е.А., – в праці [4] розглянута сучасна структура системи організації технічної експлуатації автобусів на основі ІТС міст. Висвітлено питання проведення в режимі реального часу моніторингу технічного стану експлуатаційних параметрів ТЗ та управління системою їх технічного обслуговування та ремонту. Методи і засоби підвищення ефективності експлуатації колісних ТЗ в умовах ІТС розглянуто і систематизовано [5] Волковим В.П., Матейчиком В.П. Грицуком І.В., Волковим Ю.В. Авторами сформована методологія та приведені результати моніторингу параметрів технічного стану та керування працездатністю автомобілів в середовищі ІТС. В роботі [6] описано систему, яка динамічно генерує інформацію про транспортний рух в місті, з використанням GPS та даних з дорожньої мережі.

В монографії [7] вченим досліджені фактори, які впливають на поведінку водія міського автобуса при рушанні від зупинки: миттєва швидкість, прискорення та їх вплив на витрату палива. За результатами дослідження встановлено, що при збільшенні прискорення дослідного ТЗ в діапазоні від $0,5 \text{ м/с}^2$ до $1,5 \text{ м/с}^2$, витрата палива виросла на 67%. В монографії [8] використані множинні лінійні регресії, які враховують спільний вплив сигналів світлофорів, системи керування пріоритетним рухом, інтенсивності транспортного потоку, часу доби, місця розташування зупинки на час поїздки від зупинки до зупинки. Запропоновано стратегію скорочення часу поїздки на автобусі і підвищення надійності транспортних послуг.

Однак у повній мірі залишаються невирішеними питання оптимізації експлуатації ДТЗ категорії М2 в сучасних умовах функціонування ІТС в містах України.

Виділення невирішених частин

Для підвищення якості перевезення і транспортного обслуговування пасажирів маршрутними ТЗ на вулично-дорожній мережі (ВДМ) потрібно покращувати використання тягово-швидкісних властивостей шляхом надання переваги у русі, по відношенню до інших учасників руху. Така перевага реалізується за допомогою застосування методів забезпечення пріоритетного руху, до яких насамперед відносяться: впровадження сучасних інформаційних та комунікаційних систем управління транспортною мережею міста, ідентифікація маршрутних ДТЗ, інформаційний обмін між ТЗ і об'єктами інфраструктури ВДМ. Невирішеним залишається питання якісної та кількісної оцінки перешкод руху маршрутним ТЗ. Усунення перешкод руху буде сприяти кращому розподілу пасажирів між транспортними засобами, в тому числі в години пікових навантажень. Тому для визначення методів підвищення експлуатаційної ефективності міських автобусів виникає потреба у їх вивченні, дослідженні та вдосконаленні.

Формулювання цілей

Дати якісну та кількісну оцінку перешкодам руху міського автобуса при виконанні пасажироперевезень. Встановити залежність середньої технічної швидкості від наявності штучних перешкод та завантаженості салону на основі проведених експериментальних досліджень ДТЗ категорії М2.

Викладення основного матеріалу

На першому етапі було проаналізовано парк транспортних засобів, якими надаються послуги міських пасажирських перевезень в Житомирі. Найбільш розповсюдженими автобусами були ДТЗ категорії М2 Рута пасажиромісткістю від 20 до 25 чоловік. Для проведення дослідження обрали автомобіль Рута-20 Інва, яким надаються послуги з пасажироперевезень на діагональному маршруті № 4 «Крошня – Комбінат силікатних виробів».

Наступним етапом було проведення лабораторних випробувань на базі випробувальної лабораторії ТОВ «Велтест», з метою визначення технічного стану, розподілу маси між вісями, дослідження ефективності гальмівних систем ДТЗ об'єктів дослідження. Для різних вагових станів були проведені дорожні випробування автомобіля Рута 20 Інва з використанням дослідницького програмно-апаратного комплексу Corrsys-Datron з оптичним датчиком Correvit L-400: розгін з місця до встановленої швидкості (до 60 км/год для міських автобусів). вибіг зі швидкості 60 км/год. гальмування зі швидкості 60 км/год для визначення фактичної ефективності гальмівної системи, отримання значень прискорень, уповільнень при вибігу, уповільнень при гальмуванні на горизонтальній дорозі з асфальтобетонним покриттям.

Для проведення досліджень на міському маршруті на автобус Рута-20 Інва були встановлені пристрій спостереження за рухомим об'єктом «BI-820 TREK», датчики навантаження на вісь ДП-01 для ДТЗ з ресорної підвіскою, відеореєстратор для фіксації перешкод руху, а також були підготовлені форми для ведення обліку пасажирів. Дослідження проводились за встановленими графіками руху в пікових та позапікових періодах експлуатації.

В ході проведених досліджень на маршруті було виявлено штучні перешкоди, які виникають на вулицях міста і стають причиною маневрування та зменшення швидкості ТЗ.

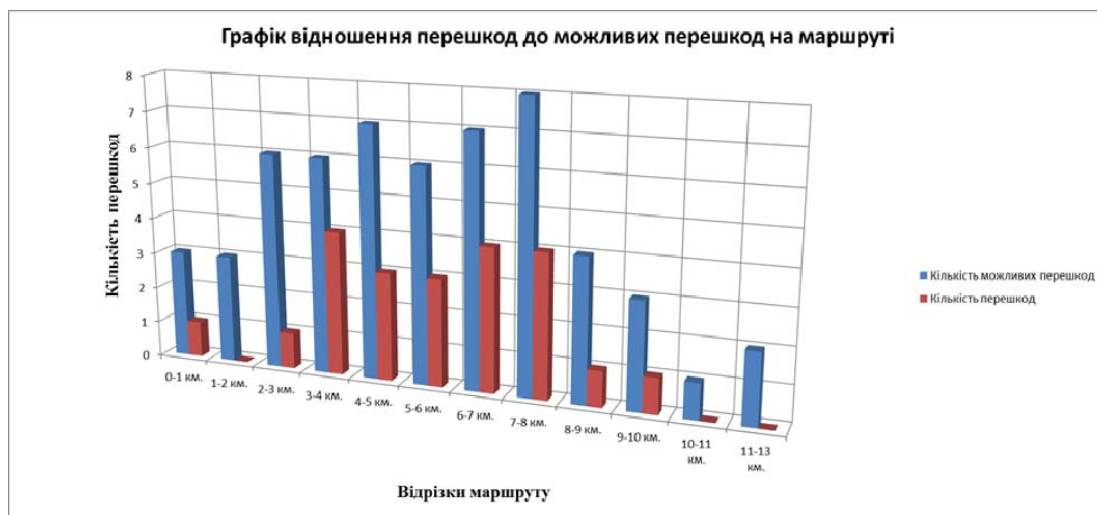


Рис. 1. Статистичні дані по фактичним перешкодам руху на діаметральному маршруті міста Житомира

Для автобуса Рута-20 Інва було експериментальним шляхом відтворено швидкісний режим руху з доданням штучної перешкоди з повною зупинкою ТЗ. Такий режим руху відповідає вимогам безпеки і комфорту для пасажирів, поєднує в собі фази вибігу, гальмування з уповільненням $2,5 \text{ м/с}^2$ та розгону до рекомендованої для ділянки руху швидкості $V_{k \text{ ср.}}$. Така перешкода відповідає режимам руху при під'їзді до зупинки громадського транспорту та від'їзді від неї. Що враховується при формуванні найбільш сприятливого режиму руху на перегоні між плановими зупинками в місті. Було визначено експериментально втрати часу на додання перешкоди та прогнозовано втрати часу на додання перешкоди з урахуванням проїзду цієї ділянки шляху зі сталою швидкістю $V_{k \text{ ср.}}$ без зупинки.

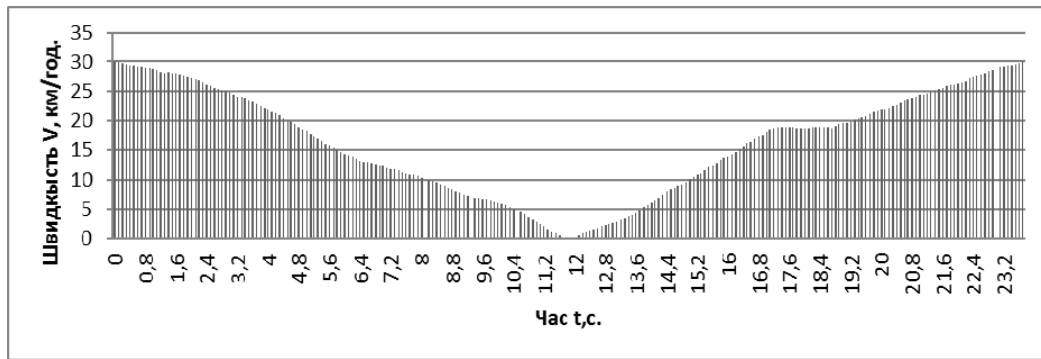


Рис. 2. Швидкісний режим руху з долаттям штучної перешкоди з повною зупинкою ТЗ

За отриманими даними можемо визначити кількісні показники, що відповідають еквівалентній перешкоді. Довжина ділянки маршруту, на якій досліджуємо долаття ДТЗ категорії М2 штучної перешкоди, складає $S_{\text{сум}} = 107$ м. Уповільнення та гальмування з початкової швидкості $V_0 = 30$ км/год до повної зупинки відбулося на ділянці $S_{\text{гальм}} = 52,6$ м на протязі часу $t_{\text{гальм}} = 11,8$ с із середнім уповільненням $-2,54$ м/с². Розгін після повної зупинки до швидкості $V_0 = 30$ км/год відбувся на ділянці $S_{\text{розгону}} = 54,6$ м на протязі часу $t_{\text{розгону}} = 11,8$ с із середнім прискоренням $2,54$ м/с². Якщо перешкоду руху буде виключено за рахунок надання пріоритету руху автобусу, даний відрізок шляху зі сталою швидкістю $V_0 = 30$ км/год буде пройдений за $t_{\text{пост}} = 12,8$ с. Тоді, затримка в часі руху автобуса у зв'язку з долаттям еквівалентної перешкоди становить $t_{\text{пост}} = (t_{\text{гальм}} + t_{\text{розгону}}) - t_{\text{пост}} = (11,8 + 11,8) - 12,9 = 10,7$ с.

За такою схемою було визначено втрати часу на інших штучних перешкодах руху на перегоні між зупинками.

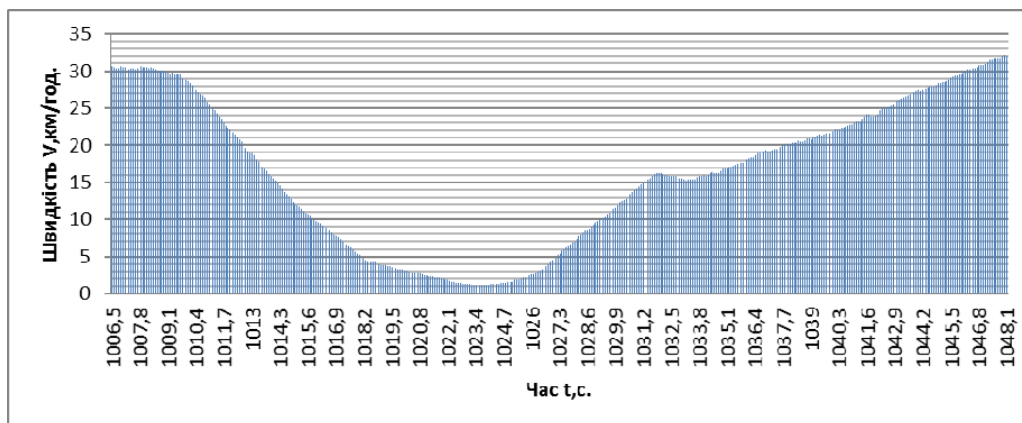


Рис. 3. Графік залежності швидкості руху від часу автобуса Рута 20 на ділянці з перешкодою типу «Світлофор»

Кількісні показники руху ДТЗ категорії М2 з перешкодою:

Розташування перешкоди (координати): 50.270685, 28.657560. Тип перешкоди: «Світлофор». Реакція на перешкоду: Уповільнення (У). Середнє уповільнення вибігу: $-0,32$ м/с². Час вибігу: 3,1 с. Середнє уповільнення при гальмуванні: $-2,1$ м/с². Час гальмування: 13,6 с. Середнє прискорення розгону: $1,25$ м/с². Час розгону: 24,7 с. Довжина ділянки з перешкодою: 187,6 м. Час проїзду без перешкоди: 22,5 с. Втрата часу на долаття перешкоди: 18,9 с.

Математичне моделювання експерименту

Об'єктом математичного дослідження є середня технічна швидкість руху ДТЗ категорії М2 за міським маршрутом. Серед факторів впливу вибираємо ті, що мають найбільший вплив на об'єкт [9]. До таких факторів, значення яких отримано експериментальним шляхом (табл. 1), відносяться повна маса ТЗ та кількість еквівалентних перешкод його руху. Модель об'єкта дослідження представимо у вигляді «чорної скрині»:

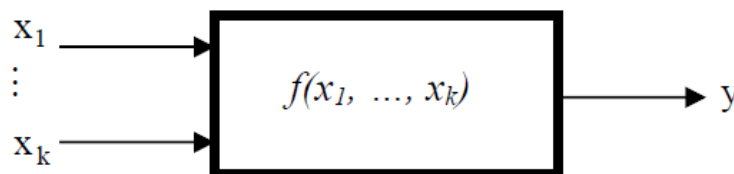


Рис. 4. Модель об'єкта дослідження у вигляді «чорної скрині»

Таблиця 1

Зведені експериментальні дані щодо середньої технічної швидкості та еквівалентних перешкод руху автобуса
Рута 20 на маршруті № 4 між зупинками «АЗС» та «Комбінат силікатних виробів» в прямому напрямку

№ перегону між зупинками	Найменування перегону між зупинками	Повна маса автобуса, кг	Середня технічна швидкість, км/год	Відстань між зупинками, м	Еквівалентні перешкоди
1	АЗС - вул. Піщана	3405	17,3	230	1
2	вул. Піщана - вул. Андріївська	4005	15,2	440	2,09
3	вул. Андріївська - вул. Цегляна	4755	17,2	400	1
4	вул. Цегляна - Крошня	4980	14,6	250	1,45
5	Крошня - вул. Гранітна	5130	18,5	400	1
6	вул. Гранітна - вул. Чеська крошня	5055	17,3	270	1
7	вул. Чеська крошня - вул. С. Наливайка	5130	20,5	160	0,5
8	вул. С. Наливайка - Стомат.поліклініка	4980	20,5	450	0,97
9	Стомат.поліклініка - Агроколедж	5130	12,7	370	1
10	Агроколедж - вул. Героїв Чорнобиля	5055	9	375	2,17
11	вул. Героїв Чорнобиля - Пр. Незалежності	5055	9	350	5,95
12	Пр. Незалежності - пров. 2-й Капітульний	4905	13,3	310	0,5
13	пров. 2-й Капітульний - Сінний ринок	4905	13,3	380	5,01
14	Сінний ринок - вул. Лесі Українки	4830	18,6	460	1
15	вул. Лесі Українки - вул. М. Грушевського	4905	16,6	590	3,52
16	вул. М. Грушевського - майдан Перемоги	4530	14,8	550	2,56
17	майдан Перемоги - вул. Перемоги	4530	7	120	1,79
18	вул. Перемоги - ЖАДК	4380	11,8	360	2,46
19	ЖАДК - майдан Корольова	4380	12,1	350	2,32
20	майдан Корольова - Старий бульвар	4155	15	400	2,36
21	Старий бульвар - Університет ім. І. Франка	4005	14,6	350	2,35
22	Університет ім. І. Франка - вул. Довженка	3705	15,4	590	3,54
23	вул. Довженка - вул. Гагаріна	3555	18,6	320	1
24	вул. Гагаріна - вул. Жуйка	3555	12	300	3,23
25	вул. Жуйка - пров. 3-й Магазиный	3780	29,2	400	1
26	пров. 3-й Магазиный - майдан Смолянський	3855	29,2	310	1
27	майдан Смолянський - вул. Гонти	3855	11,7	350	3,27
28	вул. Гонти - пров. 1-й Смолянський	3930	30,5	300	0,5
29	пров. 1-й Смолянський - Інститут бізнесу і технологій	3930	30,5	300	0,5
30	Інститут бізнесу і технологій - майдан Станішівський	3630	22,5	250	1
31	майдан Станішівський - вул. Слобідська	3555	20,1	400	0,5
32	вул. Слобідська - Житомирзооветпостач	3555	20,1	400	0
33	Житомирзооветпостач - вул. Промислова	3555	20,1	650	0,5
34	вул. Промислова - Комбінат силікатних виробів	3480	20,1	550	1
35	Комбінат силікатних виробів	3255			

Тоді, функція відгуку має вигляд

$$V_T = f(M_a, n_{\text{екв}}), \quad (1)$$

де M_a – повна маса автобуса,

$n_{\text{екв}}$ – кількість еквівалентних перешкод руху автобуса.

Розглянемо повнофакторний експеримент типу 2^k . Число рівнів факторів впливу дорівнює 2 (мінімальне та максимальне значення), а число самих факторів дорівнює k . В нашому дослідженні розглядаємо два фактора $k=2$. Складаємо матрицю [10] планування експерименту.

Таблиця 2

Матриця планування експерименту

№ досліджу	Фактори		Позначення	Параметр оптимізації
	$x_1(M_a)$	$x_2(n_{екв})$		V_T
1	-1	-1	(1)	V_{T1}
2	+1	-1	a	V_{T2}
3	-1	+1	b	V_{T3}
4	+1	+1	ab	V_{T4}

Діапазону значень параметру x_1 [-1;+1] відповідає діапазон зміни значень фактору впливу M_a від мінімального до максимального значення [3480;5130]. Діапазону значень параметру x_2 [-1;+1] відповідає діапазон зміни значень фактору впливу $n_{екв}$ від мінімального до максимального значення [0,5;5,95].

Тоді, регресійна модель приймає такий вигляд

$$V_T = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2, \quad (2)$$

де середня технічна швидкість ТЗ $V_{Tсер} = B_0$.

$$B_1 = \frac{(-1)V_{T1} + (+1)V_{T2} + (-1)V_{T3} + (+1)V_{T4}}{4}, \quad (3)$$

$$B_2 = \frac{(-1)V_{T1} + (-1)V_{T2} + (+1)V_{T3} + (+1)V_{T4}}{4}, \quad (4)$$

Результати розрахунків вносимо в таблицю 3

Таблиця 3

№ досліджу	Фактори		Параметр оптимізації	Коефіцієнти		
	M_a	$n_{екв}$	V_T	B_0	B_1	B_2
1	3480	0,5	20,1	16,25	-4,05	-1,5
2	5130	0,5	20,5			
3	3705	3,54	15,4			
4	5055	5,95	9			

Рівняння регресії для середньої технічної швидкості приймає вигляд

$$V_T = 16,25 - 4,05x_1 - 1,5x_2, \quad (5)$$

Таким чином, отримана модель, за допомогою якої ми зможемо впливати на збільшення середньої технічної швидкості через керування наповненістю салону та усунення перешкод руху шляхом надання переваги в дорожньому русі маршрутному автобусу з використанням технології ІТС.

Висновки

Наведена модель зміни швидкості дозволяє оцінити та оптимізувати організаційно адміністративно структурну характеристику маршруту перевезень пасажирів, з позиції наявності місць тяжіння пасажирів (за заповненням салону) та організації дорожнього руху (за кількістю еквівалентних перешкод на перегонах руху). Сплановане та проведене дослідження щодо визначення швидкості в умовах роботи ІТС. Експериментально доведено, що при усуненні наявних штучних перешкод на маршрутних перегонах за допомогою компонентів ІТС, швидкість руху автобусів категорії М2 можливо збільшити в середньому на 23%. Для подальших досліджень можна рекомендувати виміри в режимі реального часу відстані до рухомих об'єктів, які можуть викликати затримку в русі маршрутних транспортних засобів, дотримання безпечної відстані до транспортного засобу що рухається попереду.

Література

1. Горбачов П.Ф. Вплив поїздок у приміському сполученні на інтенсивність руху на автомобільних

дорогах загального користування / П.Ф. Горбачов, А.А. Кочина // Вісник ХНАДУ. – 2016. – С. 83–87.

2. Рудзінський В.В. Інтелектуальні транспортні системи автомобільного транспорту (функціональні основи) : навч. посібник / Рудзінський В.В. – Житомир : ЖДТУ, 2012. – 98 с.

3. Гащук П.М. Досконалість автомобільної трансмісії в системі оцінок проектного менеджменту / П.М. Гащук, Р.А. Пельо // Вісник ЛДУ БЖД. – 2014. – № 9. – С. 53–71.

4. Вовк Л.П. Организация технической эксплуатации автобусов на основе интеллектуальных транспортных систем / Л.П. Вовк, Л.А. Македонская, В.П. Волков, Е.А. Комов // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. Науковий журнал. Серія «Транспорт». – Харків : ХАДІ, 2012. – № 1(14) – С. 5–11.

5. Интеллектуальные системы управления работоспособностью автомобилей : [монография] / под ред. Волкова В.П. – Харьков : Майдан, 2016. – 503 с.

6. Biem, A., Bouillet, E., Feng, H., Ranganathan, A., Riabov, A., Verscheure, O., Koutsopoulos, H., Moran, C.: Ibm infosphere streams for scalable, real-time, intelligent transportation services. In: Proc. of the 2010 ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of data. pp. 1093–1104. ACM (2010).

7. Munzilah Md. Rohani Bus driving behaviour and fuel consumption: Thesis for the degree of Doctor of Philosophy: Transportation Engineering / Munzilah Md. Rohani. Southampton. 2012. 382 p.

8. Wei Feng. Analyses of Bus Travel Time Reliability and Transit Signal Priority at the Stop-To-Stop Segment Level: Thesis for the degree of Doctor of Philosophy: Civil and Environmental Engineering / Wei Feng. Portland, 2014. 140 p.

9. Пастух І.М. Формування моделей процесів на основі експериментальних даних / І.М. Пастух, О.С. Здибель // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2016. – № 1(233). – С. 98–102.

10. Соколова Г.М. Моделювання багатофакторних процесів з взаємозалежними факторами впливу / Г.М. Соколова // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2016. – № 1(233). – С. 117–120.

Рецензія/Peer review : 24.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 15.12.2016 р..

Рецензент: д. т. н., проф. Кравченко О.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 № 6 від 24.11.2016 р.**

Підп. до друку 25.11.2016 р. Ум.друк.арк. 29,67 Обл.-вид.арк. 28,22

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